

Tuomas Tanninen

Saneerattavan toimitilakiinteistön lämmönjakohuoneen ratkaisu liityttäessä kaukojäähdytysverkkoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
11.5.2011

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tuomas Tanninen Saneerattavan toimitilakiinteistön lämmönjakohuoneen ratkaisu liityttäessä kaukojäähdytysverkkoon 42 sivua + 10 liitettä 11.5.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	insinööri (AMK) Juha Lyyra yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriytyössä oli tarkoitus käydä läpi saneerauskohteeseen suunniteltavan kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen suunnitteluprosessi vaihe kerrallaan. Kaukojäähdytyksen suunnittelutyö saneerauskohteeseen vaati kiinteistön vanhojen jäähdytysjärjestelmien kartoituksen ja uusien laitteiden toimivuuden tarkistamista vanhojen laitteiden kanssa.</p> <p>Työssä käytiin läpi suunnitteluprosessin vaiheet kohteessa, jossa tuloilman jäähdytyspattereiden jäähdytysveden tuottotapaa muutettiin. Kiinteistön vanha kylmäkoneikolla epäsuorasti toiminut jäähdytysjärjestelmä korvattiin liittämällä kiinteistö kaukojäähdytysverkkoon. Työn suunnitteluvaiheet käytiin siinä järjestyksessä kuin ne olisivat järkevintä toteuttaa vastaavissa suunnittelutoissa. Suunnittelussa esille tulleet uuden järjestelmän toimintaan saattamiseen liittyvät ongelmat ratkaistiin kirjallisen ja suullisen konsultoinnin avulla.</p> <p>Suunnitteluprosessissa todettiin, ettei valmiin pakettiratkaisun käyttö ole mahdollista silloin, kun laitteistolle varattu tila on hyvin rajallinen. Tällöin alajakokeskus suunniteltiin tehtäväksi osa kerrallaan paikan päällä, ja mahdolliset ratkaisut tilan säästämiseksi oli huomioitava jokaisella osa-alueella. Lisäksi suunnittelussa otettiin huomioon vanhojen jäähdytyslaitteiden toimivuus uuden järjestelmän mitoitusarvoilla.</p> <p>Insinööriytyössä huomattiin, että saneerauskohteen kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen suunnittelussa helpointa olisi käyttää räätälöityjä ratkaisuja. Suunnittelijat määrittelisivät komponentit erikseen käyttämättä valmiita pakettiratkaisuja. Alajakokeskuksen pääkomponentit suunniteltiin sijoitettavaksi kiinteistön alakerran lämmönjakohuoneeseen, mutta jäähdytysverkostolle tarpeellisia varolaitteita sijoitettiin yläkerran ilmanvaihtokonehuoneeseen tilan säästämiseksi alhaalla. Vanhoissa tuloilman jäähdytyspattereissa tapahtui laskennallisesti n. 25 %:n tehonpudotus uusilla kaukojäähdytyksen veden mitoitusarvoilla.</p>	
Avainsanat	kaukojäähdytys, saneeraus, suunnittelu

Author Title Number of Pages Date	Tuomas Tanninen A study of district cooling solution when applied to renovated business district 42 pages + 10 appendices 11 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, planning oriented
Instructors	Juha Lyyra, BEng Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to study each phase in the HVAC planning process to connect a business premise to a cooling district network. The planning process required a thorough examination of the existing cooling system. Also, the compatibility of the new cooling system with existing components was checked.</p> <p>The studied planning process was done for a building with hydronic cooling radiators designed to cool the supply air. The system produced cooling water with a traditional chiller system which was replaced with a district cooling system. The phases of the planning process were studied in the order the process would logically proceed in. All technical problems were solved with the help of literature and oral consulting.</p> <p>It was established that a pre-assembled district cooling package was not an alternative due to a lack of space. Therefore, each of the components in the new cooling system were designed individually. In the studied building, all the main components were finally located in the heat distribution center. However, in order to conserve space all safety systems were located on the uppermost floor. It was calculated that the supply air cooling radiators would lose approximately 25% of their cooling effect when the new system is applied.</p> <p>The final year project showed that it is easier to plan a district cooling system for renovation premises with customized solutions done by the planners themselves.</p>	
Keywords	district cooling, renovation, planning

Sisällys

1 Johdanto.....	1
2 Kaukojäähdytys	2
2.1 Vapaajäähdytys merivedellä	2
2.2 Absorptiojäähdytys.....	3
2.3 Jäähdytysvesivarasto	4
2.4 Lämpöpumppulaitos.....	6
2.5 Kaukojäähdytysjärjestelmä kiinteistössä	8
2.6 Varajäähdytys käyttövedellä	9
3 Kohteen kuvaus	9
3.1 Vanha tilanne lämmönjakohuoneessa	10
3.2 Uusi tilanne lämmönjako- ja ilmanvaihtokonehuoneessa	11
4 Kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen suunnittelu	11
4.1 Energialaitoksen ohjeistukset.....	11
4.2 Lämmönsiirtimet	12
4.2.1 Jäähdytysteho	16
4.2.2 Ensiö- ja toisioverkoston meno- ja paluulämpötilat uudis- ja saneerauskohteissa.....	18
4.2.3 Lämmönsiirtimeen mitoitusarvot laitetoimittajalle	18
4.3 Toisioverkoston virtausnopeus	21
4.4 Toisioverkoston pumppu.....	21
4.4.1 Jäähdytyspattereiden vanhojen säätöventtiilien mitoitusarvot uusilla pattereiden tehoilla	22
4.4.2 Toisioverkoston painehäviö.....	22
4.4.3 Pumpun energiataloudellisuus	25
4.4.4 Runkoäänien eristys.....	26
4.5 Ensiöpuolen säätöventtiilit.....	26
4.6 Toisioverkoston jäähdytyspatterien kytkentä.....	30
4.7 Toisioverkoston putkistovarusteet.....	31
4.7.1 Varolaitteet	31
4.7.2 Täyttöventtiiliryhmä	35
4.7.3 Lianerottimet	35

4.7.4 Ilmanpoistajat	36
4.8 Ensiö- ja toisiopuolen putkisto	37
4.9 Eristeet.....	38
4.10 Mittauskeskus.....	39
5 Yhteenveto	39
Lähteet.....	41
Liitteet	
Liite 1: Kaukojäähdytyksen esimerkkikytkentäkaavio (Helsingin Energia)	43
Liite 2: Kaukojäähdytyksen varajärjestelmän esimerkkikytkentäkaavio (Helsingin Energia)	
Liite 3: Lämmönjakohuoneen LVI-suunnitelma	
Liite 4: Lämmönsiirtimeen mittakuva (Alfa Laval Oy)	
Liite 5: Lämmönsiirtimeen valmistajan mitoitusajo	
Liite 6: Ohjeistus säätöventtiilien mitoituksesta(Helsingin Energia)	
Liite 7: Pakettimittauskeskus (Helsingin Energia)	
Liite 8: Toisiopuolen kiertopumppu	
Liite 9: Ohivirtaussuodattimen kytkentäperiaate (Helsingin Energia)	
Liite 10: RTI-talon kaukokylmän alajakokeskuksen mitoitus	

1 Johdanto

Työssä tarkastellaan olemassa olevan toimitilakiinteistön jäähdytysvesiverkostoon menevän jäähdytysveden tuottotavan muutosta teknisiltä osilta. Jäähdytysvesi on aikaisemmin tuotettu viereisessä kiinteistössä kylmäkoneikossa, josta se on johdettu putkessa maan alla tässä työssä tarkasteltavaan kiinteistöön. Nyt jäähdytysveden syöttö katkaistaan ja kiinteistö liitetään alueelle rakennettuun kaukojäähdytysverkkoon.

Tarkastelu on rajattu pääasiassa kaukojäähdytysverkkoon liitettävän kiinteistön lämmönjakohuoneeseen tehtäviin teknisiin ratkaisuihin. Lisäksi tässä tapauksessa jouduttiin tekemään erityisratkaisu tilanpuutteen vuoksi, joten työssä tarkastellaan myös ilmanvaihtokonehuoneeseen tehtyjä muutoksia. Kaukojäähdytysjärjestelmässä jäähdytys tapahtuu välillisesti, joten suoriin jäähdytysjärjestelmiin ei puututa.

Työssä tehdyt tutkimustyöt tehtiin kirjallisuuden ja suullisen konsultoinnin avulla. Kirjallisuudesta tärkeimmät oppaat saatiin Helsingin Energian julkaisuista: ”Rakennusten kaukojäähdytys, KJ1/2010, Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet”, ”Kaukojäähdytyksen järjestelmäohje” ja ”Kaukojäähdytyksen primääripiirin asennusohje”. Lisäksi perustiedot lämmönsiirrosta ja putkivirtauksen tekniikasta haettiin lämmityspuolen oppaista. Fysikaaliset periaatteet ovat samoja kuin lämmityspuolella.

Työssä käytetyt LVI-tekniikan symbolit ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D4 (1978) mukaisia. Aikataulujen vuoksi insinööriyöhön ei saatu kuvia tai mittauksia toteutuneesta ratkaisusta muuten kuin teknisten suunnitelmien muodossa.

Työn tavoitteena on esittää näkökulmia, joita voisi hyödyntää yleisesti kaukojäähdytysjärjestelmän teknisessä suunnittelussa saneerauskohteissa. Muun muassa Helsingin Energia tarjoaa ohjeita ja apuvälineitä kiinteistön kaukojäähdytysjärjestelmän suunnitteluun. Työn edetessä kävi kuitenkin ilmi, että järjestelmän suunnittelun pohjustusta ei kannata aloittaa esimerkiksi mallikytkentäkaavioiden pohjalta. Lähtökohtana on, että saneerauskohteen kaukojäähdytysjärjestelmä tulisi suunnitella alusta loppuun tapauskohtaisesti kaikkien laitteiden osalta. Kaukojäähdytysjärjestelmässä LVI-suunnittelu korostuu, koska laitevalinnoilla vaikutetaan oleellisesti järjestelmän energiankulutukseen.

Kaukojäähdytyksessä esimerkiksi virtaamat ovat kaukolämpöä suuremmat ja tämä vaatii toisiopuolen verkkoon tehokkaan kiertovesipumpun.

2 Kaukojäähdytys

Suomessa kaukojäähdytystä tarjoavat etupäässä energialaitokset. Eri alueiden kaukojäähdytysverkot ovat yleensä paikallisten energialaitoksien omistuksessa. Helsingissä toiminta alkoi vuonna 1998, Turussa ja Lahdessa vuonna 2000 (1) ja Tampere aloittaa vuonna 2011 (2). Kaukojäähdytyksen tuottamistapoja on useita. Esimerkit kaukojäähdytyksen tuottamistavoista pääkaupunkiseudulla voidaan jakaa neljään vaihtoehtoon (3):

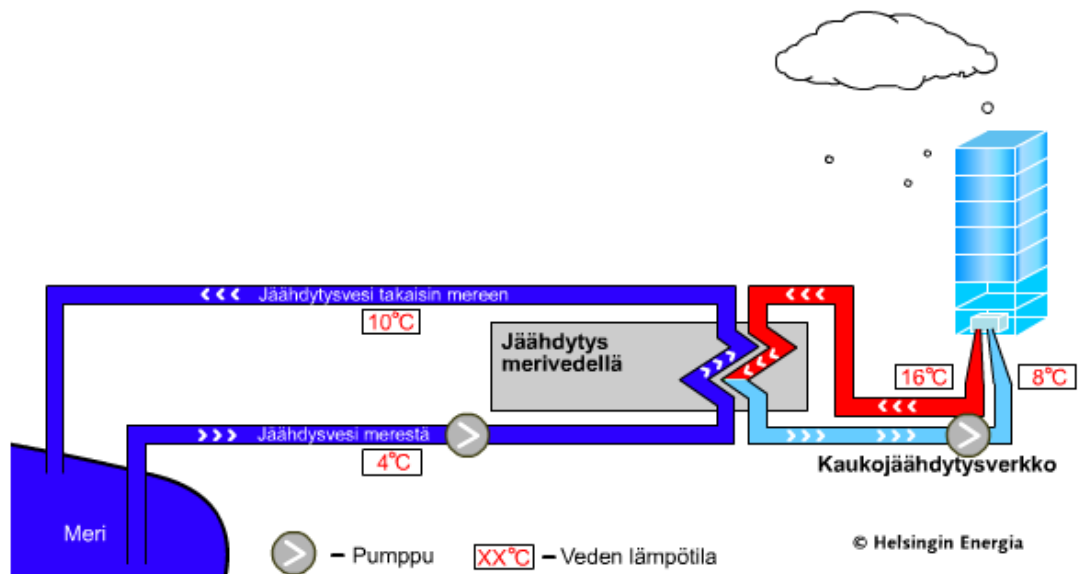
- vapaajäähdytys merivedellä
- absorptiojäähdytys
- jäähdytysvesivarasto
- lämpöpumppulaitos

2.1 Vapaajäähdytys merivedellä

Kylmä merivesi soveltuu kaukojäähdytyksen paluuveden jäähdyttämiseen, koska se on käytännössä ehtymätön kylmänlähde. Järjestelmän periaatteena on pumpata merivettä lämmönsiirtimeen, jonka toisiopuolella virtaa kaukojäähdytysverkon vesi. Lämmönsiirrin jäähdyttää merivedellä jäähdytysverkoston vettä. (Kuva 1.)

Vapaajäähdytys merivedellä

Kaukojäähdytyksen tuotantotapa vaihtelee vuodenajan mukaan. Talviaikaan voidaan jäähdyttää merivedellä.



Kuva 1. Vapaajäähdytyksen periaate (Helsingin Energia)

Menetelmää rajoittaa sen käytettävyys ainoastaan talvisin. Kesällä ei merivettä voida käyttää, koska merivesi on lämmintä.

2.2 Absorptiojäähdytys

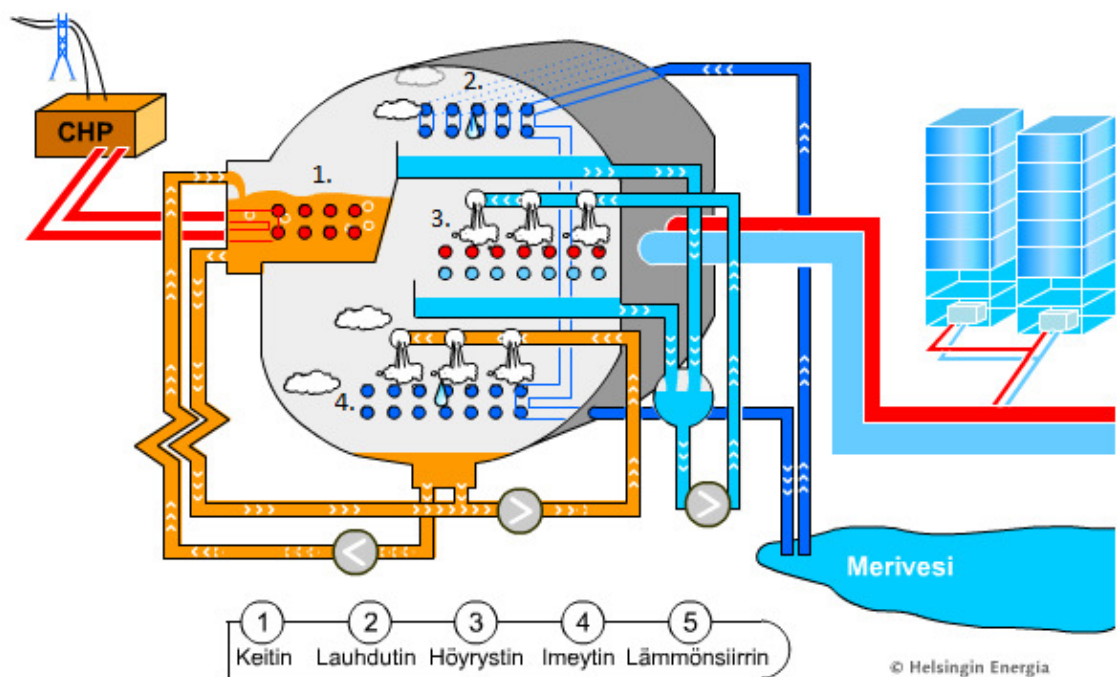
Absorptiojäähdytys on pääasiallinen tuotantotapa, kun merivesijäähdytystä ei ole saatavilla. Ajanjaksona tämä tarkoittaa alkukesästä loppusyksyyn.

Absorptiojäähdytyksen vaiheet (vaiheet numeroitu kuvassa):

1. Keittimeen ajetaan 80–85 °C:n lämpöistä kaukolämmön paluuvettä, joka höyrystää keittimessä olevan litiumbromidi-vesi-sekoituksen. Höyrystämisessä ainoastaan vesi höyrystyy.
2. Höyrystynyt vesi ajetaan lauhduttimelle, jossa se lauhtuu takaisin nesteeksi. Nesteytynyt vesi kerätään lauhduttimen pohjalle, josta se johdetaan paisuntaventtiilin kautta höyrystimelle. Lauhduttamiseen käytetään merivettä.

3. Höyrystimessä vesi (joka toimii kylmäaineena) ruiskutetaan höyrystimen sisällä olevien putkien pinnoille. Putket sisältävät kaukojäähdytysverkon paluuvettä. Paluuvesi jäähtyy ruiskutuksessa. Höyrystämättä jäänyt kylmäaine kerääntyy höyrystimen pohjalle, josta se pumpataan uudelleen ruiskutettavaksi. Höyrystynyt kylmäaine ohjataan imeyttimeen.
4. Kylmäaine tulee imeyttimeen höyrynä, johon sekoitetaan keittimeltä palannutta vesi-litiumbromidi-sekoitusta. Vesihöyry lauhtuu nesteeksi. Lauhtumisessa prosessin lämpötila nousee, jota pidetään tasaisena merivedellä jäähdytettynä. Imeyttimestä lähtevä vesi-litiumbromidi-seos pumpataan takaisin keittimeen ja prosessi alkaa alusta. (Kuva 2.)

Absorbtiojäähdytys



Kuva 2. Absorbtiojäähdytyksen periaate (Helsingin Energia)

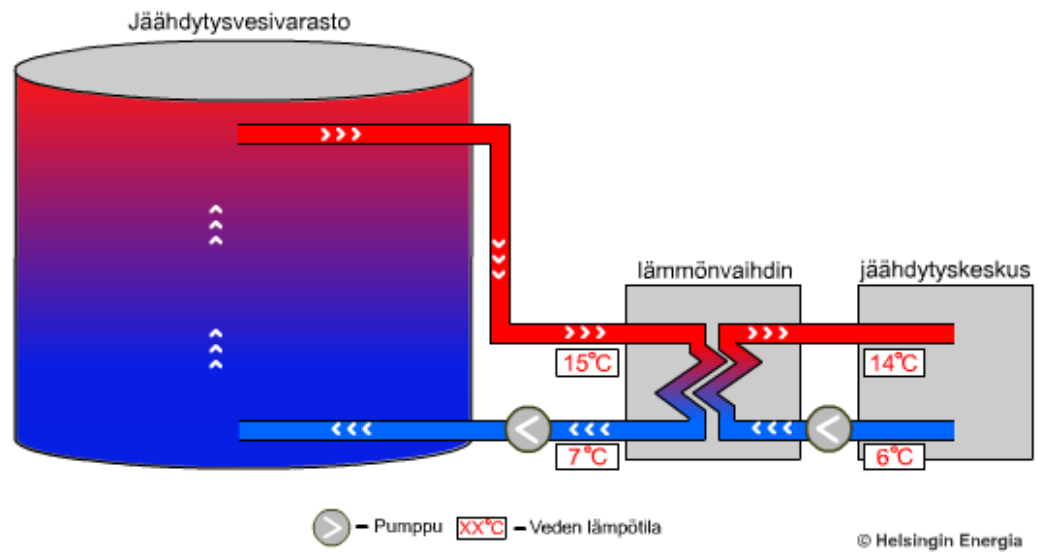
2.3 Jäähdytysvesivarasto

Jäähdytysvesivarasto toimii nimensä mukaisesti varastona. Kaukojäähdytysverkon kuormitus on pieni yöaikaan, jolloin jäähdytysvesivarastoa ladataan syöttämällä varaston lämmönsiirtimeen jäähdytyskeskuksessa jäähdytettyä vettä (kuva 3). Tällöin

jäähdytysvesivaraston vesi jäähtyy. Päiväsaikaan jäähdytyksen tarpeen ollessa suurempi jäähdytysvesivarasto puretaan kaukojäähdytysverkkoon (kuva 4).

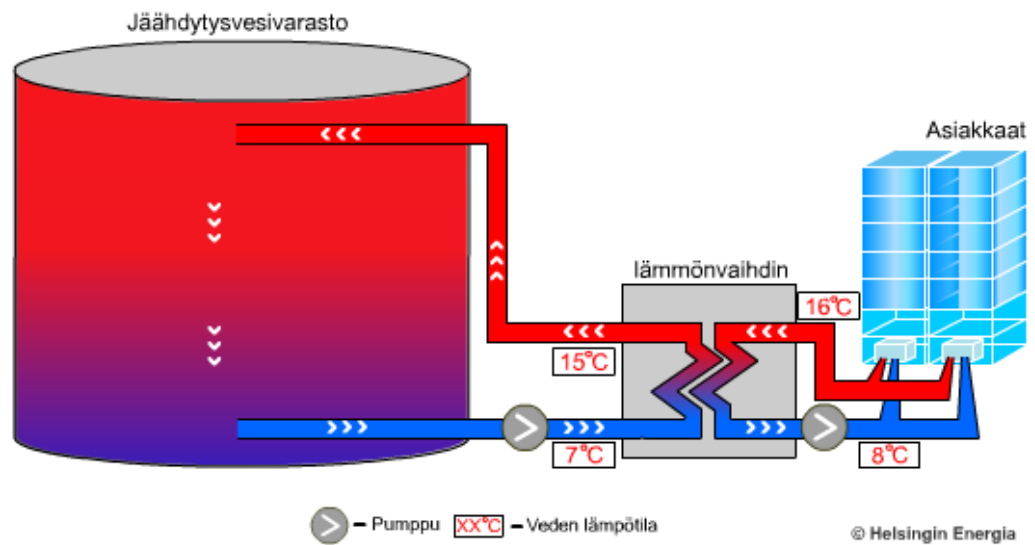
Jäähdytysvesivaraston toimintaperiaate

Lataus yöaikaan



Kuva 3. Jäähdytysvesivaraston toimintaperiaate lataustilanteessa (Helsingin Energia)

Purku päiväaikaan

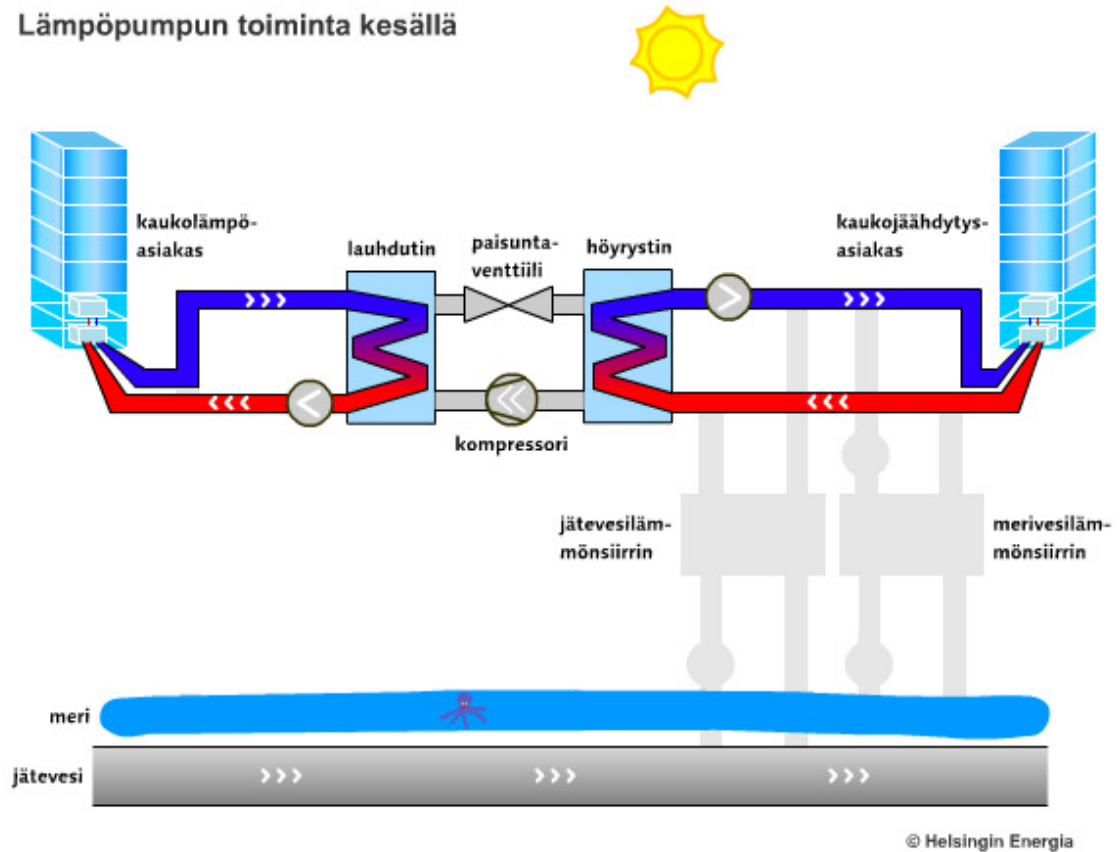


Kuva 4. Jäähdytysvesivaraston toimintaperiaate purkutilanteessa (Helsingin Energia)

2.4 Lämpöpumpulaitos

Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineputkistossa kiertävän kylmäaineen faasimuutokseen. Kesätilanteessa kompressori puristaa kylmäaineen kovaan paineeseen ja kylmäaine lauhtuu vapauttaen lämpöenergiaa. Tämä lauhdelämpöenergia voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukolämmön paluuveden uudelleenlämmittämisessä. Seuraavaksi lauhtunut kylmäaine kulkee paisuntaventtiilin läpi, jossa paine laskee niin että kylmäaine höyrystyy höyrystymisessä ja sitoo itseensä lämpöenergiaa. Höyrystin siis jäähdyttää kaukojäähdytysverkostosta palaavaa vettä. (Kuva 5). (4, s. 10.)

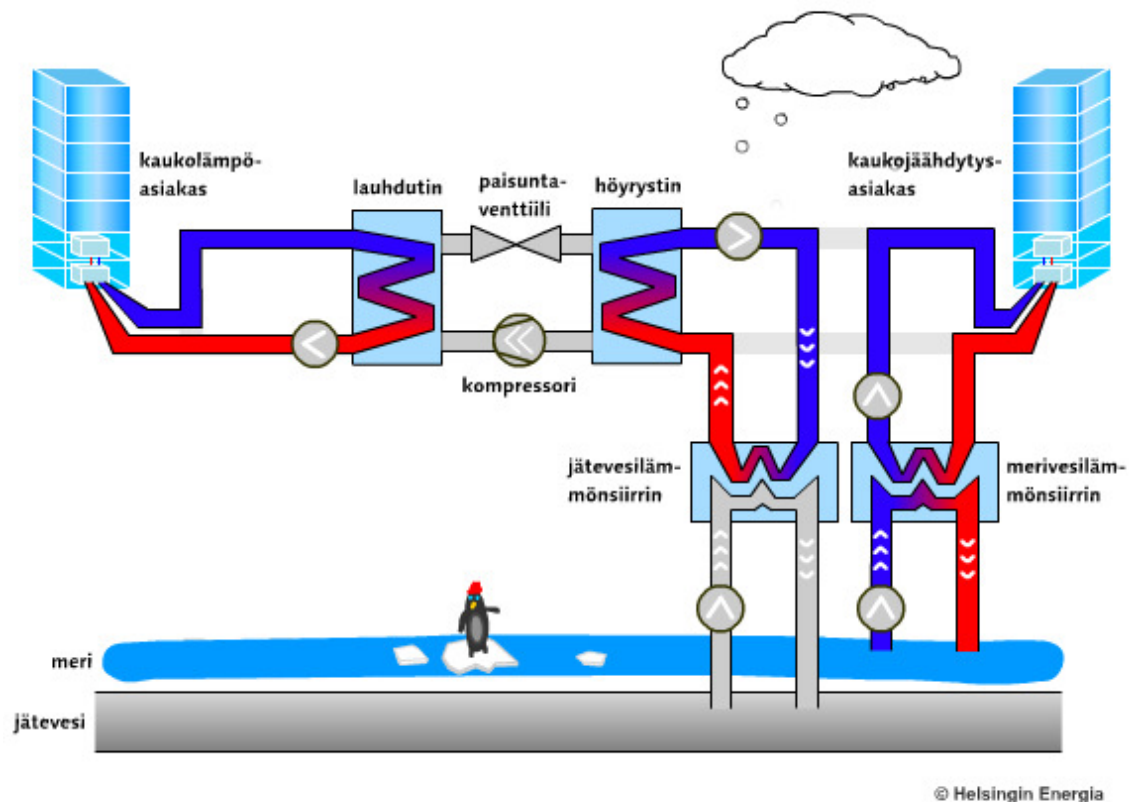
Lämpöpumpun toiminta kesällä



Kuva 5. Lämpöpumpulaitoksen toiminta kesätilanteessa (Helsingin Energia)

Talvitilanteessa periaate on sama kuin kesätilanteessa, mutta höyrystimeen ajetaan lämpöä jätevedestä, koska kaukolämpöpiirin toiminta on riippuvainen höyrystimen sitomasta lämpöenergiasta ja talvisin kaukojäähdytys tuotetaan vapaajäähdytyksenä merivedestä (kuva 6). Ilman lämpimän veden ajamista höyrystimeen lämpimän kaukolämpöveden toimittaminen asiakkaille ei onnistu.

Lämpöpumpun toiminta talvella



Kuva 6. Lämpöpumpulaitoksen toiminta talvilanteessa (Helsingin Energia)

2.5 Kaukojäähdytysjärjestelmä kiinteistössä

Rakennuksen yleistä ilmanvaihtoa voidaan jäähdyttää käyttämällä tuloilmakoneissa jäähdytyspatteria. Paikallisissa jäähdytyskohteissa voidaan käyttää esimerkiksi puhallinkonvektoreja, kattopalkkeja, kaappikoneita ja vakioilmastointikoneita (5, s. 211). Perinteisellä tavalla rakennettu ilmastointin jäähdytys on toteutettu vedenjäähdytyskoneikolla. Koneissa käytetään kompressoreita, ja ne ovat ilma-, vesi- tai liuoslauhdutteisia (5, s. 219).

Rakennuksissa kaukojäähdytysjärjestelmä toimii samalla periaattella kuin kaukolämmitysjärjestelmä, mutta päinvastoin. Alajakokeskuksessa on lämmönsiirtimet, joissa kiertää jäähdytysverkostosta tuleva kylmä vesi ja kiinteistöstä palaava lämmennyt vesi. Kylmä vesi jäähdyttää lämmönsiirtimessä kiinteistöstä palaavaa vettä ja jäähtynyt vesi lähtee takaisin verkostoon kiertoa (5, s. 236). Liite 1:stä näkee yhden esimerkkikytkentäperiaatteen.

2.6 Varajäähdytys käyttövedellä

Kaukojäähdytysjärjestelmän toisiopiiriin on mahdollista rakentaa varajärjestelmä, joka pystyy syöttämään jäähdytysvesiverkostoon edelleen vettä esimerkiksi pumpun mennessä epäkuntoon. Toimitiloissa varajäähdytys voidaan ottaa kylmästä käyttövesiverkostosta. Tällöin kylmästä käyttövesiverkosta otetaan haara, joka liitetään jäähdytysvesiverkoston menolinjaan ja paluulinjasta otetaan haara, joka johdetaan viemäriin. Varajäähdytyksen kiertoa voidaan ohjata esimerkiksi moottoriventtiileillä, jotka avautuvat, kun menoveden lämpötila menee liian korkeaksi. Samalla siirtimien läpi menevien linjojen venttiilit menevät kiinni ja kylmä käyttövesi virtaa jäähdytyspiirin läpi päätyen viemäriin (6. Varajärjestelmät. Toisiopuolen kytkennät). Liite 2:ssa on esimerkkikytkentäkaavio tällaisesta ratkaisusta.

3 Kohteen kuvaus

Tutkittava kohde oli vuonna 1989 rakennettu toimitilakiinteistö ”RTI-talo” Pasilassa. RTI-lyhenne tulee sanoista Radio- ja televisioinstituutio, ja kyseisessä kiinteistössä on mm. aikuiskoulutustiloja ja media-alan yrityksiä. Huoneistopinta-alaa kiinteistössä on n. 10 325 m² ja tilavuutta n. 28 100 m³. Kiinteistö lämmitetään kaukolämmityksellä ja ilmanvaihto toteutetaan koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdoilla. Tulo-/poisto-ilmanvaihtokoneryhmiä on 8 kpl, joista neljässä on tuloilman jäähdytyspatteri. Kiinteistössä on paikallisjäähdytyksiä varten toimitilojen käyttäjien itse hankkimia pieniä split-mallisia kylmäkoneikkoja. Jäähdytysverkostossa ei ole puhallinkonvektoreita.

RTI-talon kaukolämpö-, jäähdytys- ja kylmä käyttövesi on aikaisemmin tuotu Yleisradio Oy:lta viereisestä kiinteistöstä. Kiinteistön omistajuus on vaihtunut ja saneerauksessa kiinteistöstä halutaan tehdä omavarainen. Lämmitystapa uusitaan siten, että vanha kaukolämmityksen alajakokeskus puretaan, vanha kaukolämpöveden syöttö Yleisradiolta katkaistaan ja uusi kaukolämpövesisyöttö tuodaan energialaitoksen liittymästä. Yleisradiolta tullut kylmän käyttöveden syöttö katkaistaan, ja uusi syöttö tulee vesilaitoksen liittymästä. Viemärijohtoihin ei puututtu tässä saneerauksessa. Jäähdytysvedensyöttö Yleisradiolta katkaistaan ja RTI-talo liitetään kaukojäähdytysverkkoon. Lisäksi saneerauksessa uusitaan lämmönjakohuoneen vanha valvonta-alakeskus sen vanhentumisen vuoksi.

3.1 Vanha tilanne lämmönjakohuoneessa

Kiinteistön lämmönjakohuoneessa on vanha kaukolämmön alajakokeskus, jonka ensiöpuolen putket on tuotu Yleisradiolta. Mittauskeskus on Yleisradion omistama. Kaukolämpöjärjestelmän varolaiteryhmä on myös samassa tilassa. RTI-talon päävesimittari sijaitsee tässä tilassa ja kylmävesisyöttö tulee Yleisradiolta. Jäähdytysveden runkoputket tulevat suoraan Yleisradiolta ilman mittauksia tai venttiilejä. Lämmönjakohuoneen ilmanvaihto on toteutettu poistopuhaltimella ja korvausilmapelillä.



Kuva 7. RTI-talon lämmönjakohuone ennen muutostöiden alkua sisäänkäynniltä katsottuna

3.2 Uusi tilanne lämmönjako- ja ilmanvaihtokonehuoneessa

Kaukolämmön alajakokeskus uusitaan tehon pysyessä ennallaan. Vanhan kaukolämmön alajakokeskuksen lämmönsiirtimet veivät paljon tilaa, ja nyt uudessa paketissa saadaan pienikokoisemmat siirtimet. Tällöin koko paketti vie vähemmän tilaa kuin entinen. Kaukolämmön mittauskeskus vaihdetaan Helsingin Energian mittauskeskukseen.

Lämmönjakohuoneeseen lisätään kaukojäähdytyksen alajakokeskus laitteineen. Tilanpuutteen takia kaukojäähdytyksen alajakokeskusta ei toteuteta pakettimallina, vaan pääkomponentit sijoitellaan ympäri lämmönjakohuonetta. Lisäksi jäähdytysverkoston paisuntasäiliö ja varolaiteryhmä sijoitetaan ilmanvaihtokonehuoneeseen. Varajäähdytysjärjestelmää ei lisätä uuteen kaukojäähdytyspiiriin, koska nykyisellään kiinteistössä ei ole kriittisiä jäähdytettäviä kohteita. Vanha poistoilmapuhallin ja korvausilmapelti vaihtavat paikkoja läpivientien osalta. Vanhan puhaltimen alle tulee kaukojäähdytyksen mittauskeskus, ja tila ei riitä molemmille. Liite 3:ssa on pohjakuva putkisuunnitelmasta lämmönjakohuoneen osalta. Aikataulujen vuoksi insinööriyössä ei ollut mahdollista saada mittautuloksia valmiista lämmönjakohuoneesta.

4 Kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen suunnittelu

4.1 Energialaitoksen ohjeistukset

Kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen suunnittelussa on huomioitava jäähdytysverkon omistajan antamat ohjeistukset laitteiston osalta. Työssä tarkasteltava kiinteistö liitetään Helsingin Energian verkkoon ja suunnittelussa huomioidaan energialaitoksen julkaisun ”Kaukojäähdytyksen järjestelmäohje” (6) ja ”Rakennusten kaukojäähdytys, KJ1/2010 yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet” (7) antamat ohjeistukset.

4.2 Lämmönsiirtimet

Kaukojäähdytyksen lämmönsiirtimet poikkeavat esimerkiksi kaukolämmön lämmönsiirtimistä merkittävästi. Kaukojäähdytysverkostossa meno- ja paluuveden lämpötilaero ΔT on huomattavasti pienempi kuin lämmitysverkostoissa, joissa lämpötilaerot ovat useita kymmeniä asteita. Tästä seuraa, että jäähdytysverkoston virtaama on suuri. Työssä huomattiin, että näiden kahden asian yhdistelmä vaatii dimensioiltaan isomman siirtimen saman teholuokan lämmityspuolen siirtimiin verrattuna.

Laitetoimittajat tarjoavat mahdollisuuden tilata koko järjestelmä yhtenä pakettina, jossa on kaikki laitteet valmiina asennettuna. Siirtimen koolla on vaikutus koko paketin kokoon. Tässä työssä ei ollut mahdollista asentaa pakettimallia lämmönjako-huoneeseen tilanpuutteen vuoksi. Siksi liite 2:n pohjakuvassa esitetään lämmönsiirrin erillisenä. Lämmönsiirtimen mitoituksessa huomioidaan energialaitoksen antama ohjeistus siirtimen maksimipainehäviöstä. Painehäviön tulee olla 20–30 kPa ja PN-luokka on 16 bar (7, s. 11). Lämmönsiirtimissä käytettävä materiaali tulee olla joko ruostumatonta terästä (AISI 304) tai haponkestävää terästä (AISI 316). Lämmönsiirtimen mitoituksessa tulee huomioida myös läpivirtaavan aineen koostumuksen mahdolliset vaikutukset lämmönsiirtimen tehoon, jos kysessä on muu virtaava aine kuin vesi.

RTI-talon saneerauksessa valittiin lämmönsiirtimeksi Alfa Laval Nordic Oy:n TL10-BFG. Siirtimien mitoitusta varten tarvittiin jäähdytysteho, virtaama ja oikeat mitoituslämpötilat, kun kyse oli saneerauskohteesta. Lämmönsiirtimen mitoitusta tehdessä tulee huomioida energialaitoksen ohjeistus painehäviön rajoituksesta. Liite 4:ssä on mittakuva siirtimestä. Kuvasta näkee siirtimen kokoluokan ja verrattaessa esimerkiksi tavalliseen samantehoiseen kaukolämmönsiirtimeen kokoero on huomattava.

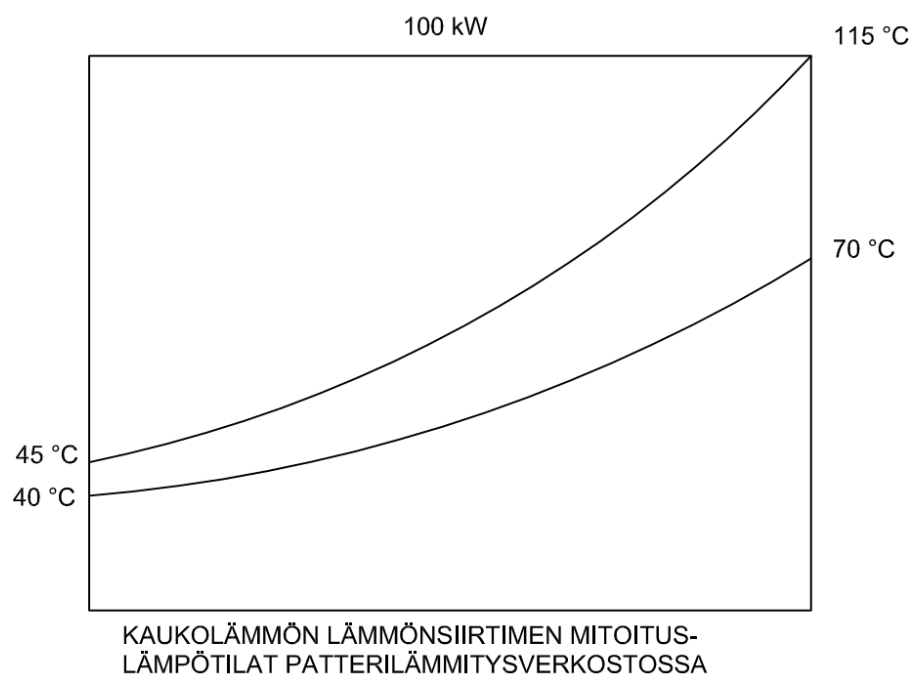
Esimerkkinä voidaan vertailla 100 kW:n tehoista lämmönsiirtimen toimintaa kaukojäähdytys- ja kaukolämpöjärjestelmän mitoituslämpötiloilla (kaukolämmössä ensipuolen mitoituslämpötilat 115/45 °C, toisiopuolella patterilämmitysverkostossa 70/40 °C (kuva 8). Kaukojäähdytyksessä ensiöpuolen mitoituslämpötilat Helsingin Energian ohjeistuksen mukaan (7, s. 11) ovat 8/16 °C ja toisiopuolen 10/17 °C (kuva

9)). Ensin lasketaan logaritminen keskilämpötilaero θ_{\ln} molemmilla mitoituslämpötiloilla kaavalla (1) (8, s. 228).

$$\theta_{\ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (1)$$

θ_1 on ensiöpuolen tulo- ja toisiopuolen menolämpötilojen erotus, °C

θ_2 on ensiöpuolen paluu- ja toisiopuolen paluulämpötilojen erotus, °C

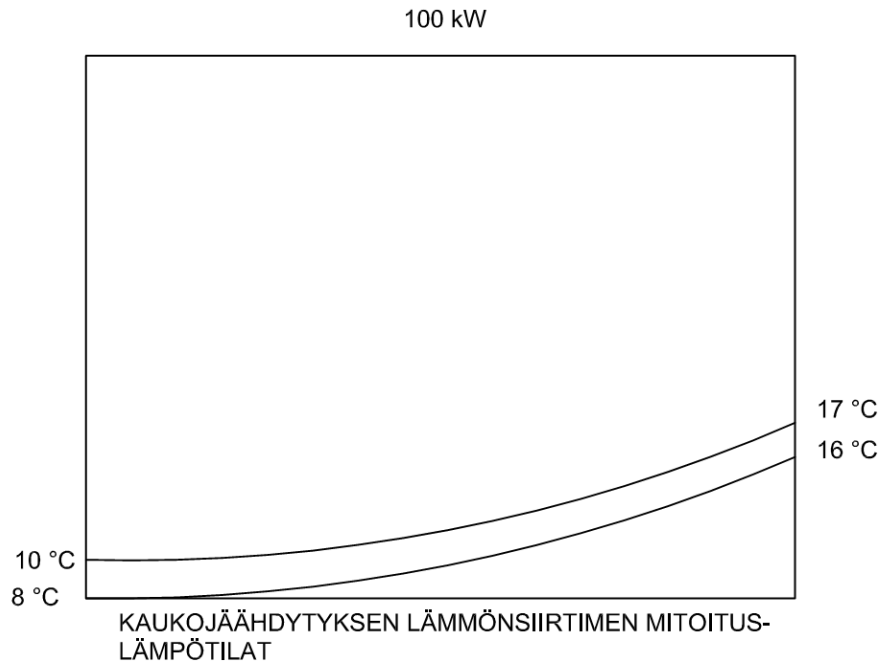


Kuva 8. Lämpötilojen kulku kaukolämmönsiirtimessä

Ensin lasketaan kaukolämmön siirtimen logaritminen keskilämpötilaero $\theta_{\ln kl}$.

Sijoitetaan arvot kaavaan (1).

$$\theta_{\ln kl} = \frac{(115^{\circ}C - 70^{\circ}C) - (45^{\circ}C - 40^{\circ}C)}{\ln \frac{115^{\circ}C - 70^{\circ}C}{45^{\circ}C - 40^{\circ}C}} = 18,2^{\circ}C$$



Kuva 9. Lämpötilojen kulku kaukojäähdytyksen lämmönsiirtimessä

Lasketaan kaukojäähdytykselle logaritminen keskilämpötilaero $\theta_{\ln kj}$. Sijoitetaan arvot kaavaan (1).

$$\theta_{\ln kj} = \frac{(10^{\circ}C - 8^{\circ}C) - (17^{\circ}C - 16^{\circ}C)}{\ln \frac{10^{\circ}C - 8^{\circ}C}{17^{\circ}C - 16^{\circ}C}} = 1,44^{\circ}C$$

Logaritmiselle lämpötilaerolle pätee myös kaava (2) (8, s. 228).

$$\theta_{\ln} = \frac{\phi}{G} \quad (2)$$

ϕ on teho, kW

G on konduktanssi, $W/^{\circ}C$

Konduktanssi muodostuu lämmönläpäisykertoimen ja lämmönsiirtopinta-alan tulosta (8, s. 228).

$$G = U \cdot A \quad (3)$$

U on lämmönläpäisykerroin, $W/m^2/^{\circ}C$

A on lämmönsiirtopinta-ala, m^2

Lämmönläpäisykerroin U on lämpöä johtavan materiaalin lämmönvastuskertoimen käänteisluku. Oletetaan kummankin siirtimen lämmönsiirtomateriaalin olevan samaa materiaalia. Tällöin lämmönläpäisykerroin on sama jäähdytys- ja lämmityspuolella. Logaritmisten lämpötilaerojen eroavaisuudesta johtuen konduktanssin suuruus muuttuu, kun halutaan sama teho eri mitoituslämpötiloilla. Lasketaan konduktanssit lämmitys- ja jäähdytyspuolelle 100 kW:n teholla johdetulla kaava (2):lla.

$$G_{kl} = \frac{\phi}{\theta_{ln kl}} = \frac{100 kW}{18,2^\circ C} = 5,49 W / ^\circ C$$

$$G_{kj} = \frac{100 kW}{1,44^\circ C} = 69,44 W / ^\circ C$$

Kaukojäähdytyksen siirtimessä konduktanssi on melkein 13 kertaa suurempi, ja lämmönläpäisykerroimen U ollessa vakio ainoa tapa saavuttaa tarpeeksi suuri konduktanssi on lisätä lämmönsiirtopinta-alaa A . Tästä syystä kaukojäähdytysjärjestelmän lämmönsiirtimet ovat suurempia verrattuna saman teholuokan kaukolämmitysjärjestelmän lämmönsiirtimiin.

Lisäksi lämpötilaerojen takia siirtimissä kulkeva virtaama on kaukojäähdytyspuolella lämmityspuolta suurempi. Virtaama q_{vvesi} voidaan laskea kaavalla (4).

$$q_{vvesi} = \frac{\phi}{\rho_{vesi} \cdot c_{pvesi} \cdot \Delta T} \quad (4)$$

ρ_{vesi} on veden tiheys, kg/dm^3

c_{pvesi} on veden ominaislämpökapasiteetti, $kJ/kg^\circ C$

ϕ on jäähdytys- tai lämmitysteho, kW

ΔT on meno- ja paluuveden lämpötilaero, $^\circ C$

Lasketaan virtaama lämmityksen ensiöpuolelle.

$$q_{vvesiklensio} = \frac{100 kW}{1 kg / dm^3 \cdot 4,18 kJ / kg^\circ C \cdot (115^\circ C - 45^\circ C)} = 0,342 dm^3 / s$$

Lasketaan virtaama jäähdytyksen ensiöpuolelle.

$$q_{\text{vesikjensio}} = \frac{100 \text{ kW}}{1 \text{ kg} / \text{dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ \text{C} \cdot (16^\circ \text{C} - 8^\circ \text{C})} = 2,990 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

Lasketaan virtaama lämmityksen toisiopuolelle.

$$q_{\text{vesiktoisio}} = \frac{100 \text{ kW}}{1 \text{ kg} / \text{dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ \text{C} \cdot (70^\circ \text{C} - 40^\circ \text{C})} = 0,797 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

Lasketaan virtaama jäähdytyksen toisiopuolelle.

$$q_{\text{vesiktoisio}} = \frac{100 \text{ kW}}{1 \text{ kg} / \text{dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ \text{C} \cdot (17^\circ \text{C} - 10^\circ \text{C})} = 3,417 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

Huomataan, että virtaamat ovat jäähdytyspuolella 3–4 kertaa suurempia lämmityspuoleen verrattuna samalla teholla. Tämä vaikuttaa jäähdytyspuolen putkikokoon kasvavasti.

4.2.1 Jäähdytysteho

Kaukojäähdytysjärjestelmän alajakokeskuksen suunnittelu alkaa jäähdytystehontarpeen selvittämisellä. Tarvittavan jäähdytystehon suuruus koko kiinteistössä vaatii uudisrakennuksissa koko rakennuksen lämmönlähteiden kartoittamisen suunnitteluvaiheessa. Jäähdytystarpeen laskennan kannalta katsottuna sisäiset ja ulkoiset lämmönlähteet ovat (5, s. 165):

- auringon säteily
- rakennuksen sisäiset lämpö- ja kosteuskuormat (ihmiset, koneet, valaistus)
- ulkolämpötila ja kosteus
- tuloilman lämpötila ja kosteus
- ilmavirtaukset rakennuksessa (ilmanvaihto, vuotoilmanvaihto, siirtoilmavirrat)
- rakennuksen seinärakenteet ja niiden lämmönvarastoisuus
- kosteuden varastoituminen.

Tässä työssä tarkasteltiin kuitenkin saneerauskohdetta ja kohteeseen on aikaisemmin syötetty jäähdytysvettä. Kohteessa ei ole vanhojen mitoituksien jälkeen tehty muutoksia, jotka vaikuttaisivat jäähdytystehon tarpeeseen, eikä käyttäjiltä ja kiinteistönhuoltoliikkeeltä ole tullut järjestelmän toimintaan liittyviä valituksia. Vanhalla mitoituksella jäähdytysvettä on syötetty 400 kW:n teholla kyseiseen kiinteistöön.

Jäähdytystehon selvittäminen olisi kuitenkin tehtävä, mikäli kyseessä olevasta kiinteistöstä ei löytyisi mitään aikaisempia mitoitus tietoja. Helsingin Energia antaa ohjearvoiksi mitoitusulkolämpötilalle +25 °C ja mitoittavalle suhteelliselle kosteudelle 60 % (7, s. 11). Muuten laskenta suoritetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5 (2007) määräysten ja ohjeiden mukaisesti.

Uudessa mitoituksessa lisätään jäähdytysteho 200 kW, jolloin kokonaisjäähdytysteho olisi 600 kW. Vanha teho on sellaisenaan riittänyt tuloilman jäähdyttämiseen, mutta tehoa nostaminen tuo mahdollisuuden laajentaa toisioverkkoa tulevaisuudessa. Uuden tehon saavuttamiseksi selvitetään vaadittava jäähdytysverkon virtaaman suuruus ja vaikeimman reitin painehäviö toisioverkon pumpun määrittämistä varten.

Jäähdytystehon suuruus vaikuttaa järjestelmän kytkentäperiaatteeseen (6. Periaatekaaviot). Laitoksen tehon suuruudesta, lämmönsiirtimien ja jäähdytysverkostojen lukumäärästä riippuen järjestelmän ensiöpuolen säätöventtiilien lukumäärä ja toisiopuolen pumppujen kytkentä ja lukumäärä toisiopuolen verkostossa vaihtelee. Suurempitehoisille laitoksille (yli 2000 kW) Helsingin Energia ohjeistaa säätöventtiilien lukumääräksi 4, kun taas pienemmissä laitoksissa (max. 150 kW) säätöventtiilien lukumääräksi ohjeistetaan 2. Useammassa jäähdytysverkostossa (esim. jäähdytyspalkki- ja ilmanvaihdon jäähdytysverkosto) jokaiseen verkostoon kytketään yksi oma, tai tehosta ja lämmönsiirtimien lukumäärästä riippuen useampi, pumppu. Järjestelmäohjeesta tai Helsingin Energian verkkosivuilta saa esimerkki-kytkentäkaavioita eri tehoille ja käyttötarkoituksille soveltuvista järjestelmistä.

Tässä työssä pyydettiin Helsingin Energialta suoraan sopiva kytkentäkaavio. Kytkentäkaaviota muokattiin jälkeenpäin vastaamaan toteutuvaa tilannetta.

4.2.2 Ensiö- ja toisioverkoston meno- ja paluulämpötilat uudis- ja saneerauskohteissa

Helsingin Energia määrittää uudiskohteiden ensiöverkostolle mitoituslämpötiloiksi +8/+16 °C ja toisioverkostolle +10/+17 °C ulkolämpötilassa +25 °C (7, s. 11). Kaikkien toisioverkkoon suunniteltujen jäähdytyspattereiden teho tulee tarkistaa tällä mitoituksella pattereiden valmistajalta.

Saneerauskohteissa, joissa jäähdytystapaa muutetaan, annetaan lisäohjeita toisioverkoston jäähdytyspattereiden mitoitukseen liittyen. Normaalitapauksissa toisiopuolen menovesi voi olla määrityksen mukaan alimmillaan +10 °C. Uusien patterien mitoituslämpötilat tulee valita kuitenkin niin, että ensiöpuolelle saadaan 8 °C:n lämpötilaero. Ensiöverkoston paluulämpötilana voidaan käyttää +16 °C:tta. Lisäksi lämmönvaihtimien lämpötilojen asteisuuden tulee olla ≥ 2 °C (7, s. 11). Mitoituslämpötilojen oikeellisuus tulee varmistaa energialaitoksen kanssa.

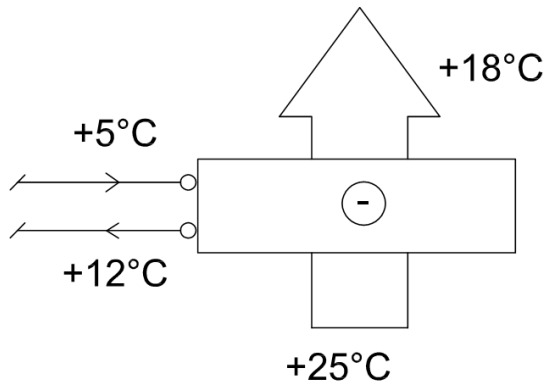
RTI-talossa on vanhat tuloilman jäähdytyspatterit, jotka on mitoitettu +5/+12 °C:n lämpöiselle vedelle ja oletettavasti +25 °C:n lämpöiselle ilmalle. Nyt kaukojäähdytysverkoston toisiopuolen menoveden lämpötila on +10 °C. Jäähdytyspattereihin ei tehdä muutoksia, joten laatuvaatimuksissa esitettyä 8 °C:n lämpötilaeroa on mahdoton saavuttaa. Lämpötilaeron ollessa pienempi jäähdytysteho pienenee. (9, s. 30).

Oikeat mitoituslämpötilat voidaan selvittää laskemalla samalla kun selvitetään tarvittava virtaama.

4.2.3 Lämmönsiirtimen mitoitusarvot laitetoimittajalle

Lasketaan teoreettinen tehon putoaminen, kun ajetaan uusilla lämpötiloilla vettä vanhoilla lämpötiloilla mitoitettuun jäähdytyspatteriverkkoon.

Vanhoissa tuloilman jäähdytyspattereissa on käytetty mitoituslämpötilana +25 °C:ta. Vesipuolen lämpötilaero on mitoitettu 7 °C:n erolle, joten voidaan olettaa ilman jäähtyvän saman verran. Tällöin patterin jälkeinen ilma olisi +18 °C. (Kuva 10.)



Kuva 10. Vanhan tuloilman jäähdytyspatterin mitoituslämpötilat

Tapauksissa joissa vain lämpötilat muuttuvat ja kaikki muu pysyy samana, pätee kaava (5)(10. Johdettu kaava).

$$\frac{\phi_2}{\phi_1} = \frac{\theta_{0,2}}{\theta_{0,1}} \quad (5)$$

ϕ_1 on laitteen teho vanhoilla mitoituslämpötiloilla, kW

ϕ_2 on laitteen teho uusilla mitoituslämpötiloilla, kW

$\theta_{0,1}$ on laitteen vanhojen mitoituslämpötilojen erotus (+25 °C ilma - +5 °C vesi)

$\theta_{0,2}$ on laitteen uusien mitoituslämpötilojen erotus (+25 °C ilma - +10 °C vesi)

Kaavasta (5) saadaan uusi teho uusilla mitoituslämpötiloilla.

$$\phi_2 = \phi_1 \cdot \frac{\theta_{0,2}}{\theta_{0,1}} \quad (6)$$

Sijoitetaan arvot kaavaan (6).

$$\phi_2 = 400kW \cdot \frac{(25^\circ C - 10^\circ C)}{(25^\circ C - 5^\circ C)} = 300kW$$

Teoriassa siis teho laskee vanhoissa pattereissa neljäsosan verran. Tämän edellytyksenä on, että vesivirtaama ja ilmavirta pysyvät samana ja vain veden menolämpötila muuttuu.

Selvitetään virtaama vanhoilla mitoituslämpötiloilla. Virtaama lasketaan kaavalla (4).

$$q_{\text{vtoisio}} = \frac{400 \text{ kW}}{1 \text{ kg} / \text{dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ\text{C} \cdot (12^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C})} = 13,6 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

Lasketaan saadulla virtaamalla ja toisioverkon menoveden $+10^\circ\text{C}$ lämpötilalla toisioverkoston paluulämpötila T_p kaavalla (7) (johdettu kaava (4), jossa

$$\Delta T = (T_p - T_m)).$$

$$T_p = \frac{\phi_2}{q_{\text{vtoisio}} \cdot c_{\text{pvesi}} \cdot \rho_{\text{vesi}}} + T_m \quad (7)$$

Sijoitetaan arvot.

$$T_p = \frac{300 \text{ kW}}{13,6 \text{ dm}^3 / \text{s} \cdot 4,18 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ kg} / \text{dm}^3} + 10^\circ\text{C} = 15,27^\circ\text{C} \approx 15,3^\circ\text{C}$$

Toisioverkoston mitoituslämpötilat ovat siis $+10/+15,3^\circ\text{C}$.

Helsingin Energian ohjeistuksen mukaan saneerauskohteissakin tulisi olla mitoituslämpötilat niin, että ensiöpuolelle saataisiin mahdollisimman suuri lämpötilaero. Tällöin myös menolämpötilaa ei voi pitää $+10^\circ\text{C}$:ssa, koska se on liian korkea.

Helsingin Energia ohjeisti ensiöpuolelle oikeiksi mitoituslämpötiloiksi $+8/+14,5^\circ\text{C}$ ($\Delta T = 6,5^\circ\text{C}$) ja toisiopuolelle $+9/+15,4^\circ\text{C}$ ($\Delta T = 6,4^\circ\text{C}$). Näillä lämpötiloilla virtaamaksi saadaan $22,3 \text{ dm}^3/\text{s}$ toisiopuolelle, kun lasketaan virtaama uudella 600 kW :n varauksen sisältävällä teholla kaava 4:llä. Nämä ovat oikeat mitoittavat arvot.

Suunnittelussa on huomioitava lämpötilaeron vaikutus verkoston putkikokoon. Jos saneerauskohteessa ei tehdä muutoksia toisioverkon putkistoon, kovin pieni lämpötilaero ei ole välttämättä mahdollinen. Lämpötilaeron pienentyessä virtaama kasvaa, virtausnopeus suurenee ja paineiskujen mahdollisuus kasvaa. (8, s. 147.)

Yhteenvedona lämmönsiirtimen virtaamaksi määritettiin $22,3 \text{ dm}^3/\text{s}$, ja laitetoimittaja Alfa Laval Nordic antoi siirtimellensä painehäviöiksi ensiöpuolelle $24,2 \text{ kPa}$ mitoituslämpötiloilla $+8/+14,5^\circ\text{C}$ ja toisiopuolelle $24,2 \text{ kPa}$ lämpötiloilla $+9/+15,4^\circ\text{C}$. Liite 5:ssä on mitoitusajo siirtimestä.

4.3 Toisioverkoston virtausnopeus

Virtausnopeus täytyy selvittää dynaamisen paineen p_{dyn} laskemiseksi. Virtausnopeus v voidaan laskea kaavalla (8).

$$v = \frac{q_{vtoisio}}{A} \quad (8)$$

q_v on tilavuusvirta, m^3/s

A on putken poikkipinta-ala, m^2

Jäähdytysverkoston vanhan runkoputken koko on DN125 (sisähalkaisija $\sim 130mm$, kierteytettävää teräsputkea, ns. "mustaa putkea").

Putken poikkipinta-ala lasketaan kaavalla (9).

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (9)$$

d on putken halkaisija, m

Sijoitetaan arvot kaavoihin (8) ja (9).

$$A = \frac{\pi \cdot (0,130m)^2}{4} = 0,0133m^2$$

$$v = \frac{0,0223m^3 / s}{0,0133m^2} = 1,67m / s$$

4.4 Toisioverkoston pumppu

Toisioverkoston pumppu määritetään käyttämällä kokonaispainehäviötä ja virtaamaa lähtökohtina. Lisäksi haluttu ohjaus- tai säätötapa vaikuttavat pumpun tyyppiin. RTI-talossa pumppu piti saada lämmönjakohuoneen valvonta-alakeskukseen kytkettyä niin, että kiinteistöhuolto pystyy seuraamaan sen toimintaa ja tekemään tarvittaessa huoltotoimenpiteitä.

RTI-taloon valittiin pumppu ilman taajuusmuuttajaa, koska se hankitaan erillisenä. Pumppuun ei pyydetty mitään omaa automatiikkaa, koska pumppu on tarkoitus kytkeä lämmönjakuhuoneen valvonta-alakeskukseen. Pumpun ohjaus ja hälytykset tulevat paikallisvalvomoon. Pumpun mitoitusaulukko on liite 8:ssa.

4.4.1 Jäähdytyspattereiden vanhojen säätöventtiilien mitoitusarvot uusilla pattereiden tehoilla

Uusilla mitoituslämpötiloilla tapahtuu n. 25 %:n tehonpudotus vanhoissa jäähdytyspattereissa. Tästä seuraa, että jäähdytyspattereiden vesivirtaa tulisi muuttaa uuden pienemmän tehon mukaiseksi. Pattereiden virtaamat tarkistettiin uudella 25 % pienemmällä teholla ja vanhoista pattereiden linjasäätöventtiilien tarkistettiin nykyiset virtaamat ja painehäviöt. Huomattiin, että yhdessä venttiilissä oli kuristusta paljon ja vanhoista suunnitteluasiakirjoista ei ilmennyt selkeästi kyseisen venttiilin mitoitusarvoa. Verkoston painehäviölaskennassa päätettiin käyttää kyseisen venttiilin nykyistä säädettyä painehäviötä yhtenä mitoittavana tekijänä, vaikka linjasäätöventtiilit säädetäänkin uudestaan kaukojäähdytyspaketin toimintaan asettamisen jälkeen. Uudet mitoituspainehäviöt katsotaan säätövaiheessa.

4.4.2 Toisioverkoston painehäviö

Toisioverkon pumpun mitoitusta varten tarvittavan painetuoton selvittämiseksi tulee selvittää verkoston painehäviö. Vaadittava painetuotto on sama kuin koko kiertopiirin vaikeimmalle piirille laskettu painehäviö. Suljetussa piirissä oletuksena on, että painetuoton riittäessä vaikeimmalle piirille se riittää myös muihin pisteisiin (8, s. 148).

Tässä työssä pumpulle vaadittava painetuotto laskettiin seuraavat seikat huomioonottaen:

- verkoston putken kitkapainehäviöt
- putkiston kertavastukset (mutkat, supistukset yms.)
- lämmönsiirrin
- jäähdytyspatteri
- vaikeimman piirin päässä olevan säätöventtiilin paine-ero.

Kiinteistöstä ei saatu mitään tietoja edellisen järjestelmän painetuotosta, koska vanhan järjestelmän kiertopumppu sijaitsee toisessa kiinteistössä ja sama pumppu kierrättää vettä kyseisen kiinteistön omissa verkostoissa samanaikaisesti. Tällöin mittaaminen ja mittaustuloksista RTI-talon erottaminen olisi hankalaa, joten painehäviölaskelma tehtiin uudestaan koko jäähdytysverkostosta.

Putkiston painehäviö Δp lasketaan kaavalla 10 (8, s. 139. Kaava 35).

$$\Delta p = R \cdot l + \xi \cdot p_{dyn} \quad (10)$$

R on putken painehäviö pituusyksikköä kohden (kitkapainehäviö)

l on putkiosuuden pituus

ξ on putkiston kertavastusten summa

p_{dyn} on dynaaminen paine

Kitkapainehäviö R selvitetiin Excel-laskentataulukon avulla (11). Kitkapainehäviön voi selvittää yleensä myös putken valmistajalta kysymällä tai teräspuutken painehäviökäyrästä.

Kaava (10) osiin jaettuna:

$$\Delta p = R \cdot l + \xi \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{vesi} \cdot v^2 \quad (11)$$

ρ_{vesi} on veden tiheys

v on virtausnopeus

Varsinainen painehäviölaskenta tehtiin samalla Excel- laskentataulukolla.

Laskentataulukko toimii kaavan (11) mukaisesti. Vanhoista pohjakuvista laskettiin vaikeimman reitin putkipituudet jokaisella halkaisijalla ja virtaaman suuruus jokaisella

putkiosuudella. Vanhoille pattereille menevät virtaamat tarkistettiin vanhojen jäähdytyspattereiden säätöventtiilien kilvistä ja virtaamien summaksi koko talon jäähdytyspattereissa saatiin 13,78 dm³/s. Putkiston kertavastusten summa koostui tässä tapauksessa putkimutkista (käyrä) ja supistuksista. Kertavastusten summa on yhtä suuri kuin putkiston osien vastuskertoimien summa. Käyrälle ja supistukselle vastuskerroin on 0,5. (8, s. 141.)

Taulukko 1. Toisiopuolen putkiston painehäviölaskenta (Excel- laskentataulukolla laskettu)

Osa	Virtaus, l/s	d _s , mm	v, m/s	p _{dyn} , Pa	R, Pa/m	Pituus, m	Δp _{kitka} , Pa	Kerta vastus- lukujen summa	Δp _{kerta} , Pa	Δp _{yht} , Pa
1	13,78	130	1,04	539	95	94	8917	8	4309	13226
2	8,80	130	0,66	220	41	111,6	4529	11	2416	6945
3	4,00	80,8	0,78	304	100	16	1606	1,5	456	2062
4	1,40	68,8	0,38	71	28	6,4	182	1,5	106	288

Taulukkolaskennalla saatiin $\Delta p = 22,52 \text{ kPa}$, johon sisältyy verkoston kitkapainehäviöt ja putkiston kertavastukset. Tähän lisätään vielä laitteistoista tulevat virtausvastukset. Vaikuttavat osat vaikeimmassa reitissä ovat lämmönsiirrin, tuloilman jäähdytyspatteri ja sen säätöventtiili, joka jätetään vanhalle säätöarvolle. Lämmönsiirtimelle Helsingin Energia antaa rajoituksen painehäviön suhteen (7, s. 11). Tässä tapauksessa rajoituksena käytettiin siirrinvalmistajan antamaa 24,2 kPa ja vanhasta kojeluettelosta selviää jäähdytyspatterin painehäviöksi 35 kPa. Vaikeimman piirin tuloilman jäähdytyspatterin säätöventtiilin paine-ero tarkistettiin.

Paine-ero oli 71,5 kPa. Normaalisti paine-erona käytetään samaa arvoa, jolle venttiili oli alun perin mitoitettu, mutta tässä tapauksessa vanhoja mitoitusarvoja ei löytynyt tai ne olivat ristiriidassa keskenään. Tällöin kokonaispainehäviö nykyisillä toisiopuolen jäähdytyspattereilla on

$$22,52 \text{ kPa} + 24,2 \text{ kPa} + 35 \text{ kPa} + 71,5 \text{ kPa} = 153,22 \text{ kPa}$$

Pumpun toimittajan mitoitusajoon pyydettiin kuitenkin nostokorkeudeksi 35 m (350 kPa) ja virtaamaksi 22,3 dm³/s, jotta jäähdytysverkoston laajennus olisi mahdollista tulevaisuudessa.

4.4.3 Pumpun energiataloudellisuus

Toisioverkon kiertopumpun valinnassa otettiin huomioon myös pumpun energiataloudellisuus. Vanha pumppu sijaitsee Yleisradion kiinteistössä, josta jäähdytysvettä on syötetty. Sama pumppu syöttää vettä myös kyseisen kiinteistön sisälle, ja näin ollen on vaikea arvioida vanhan pumpun tehosta uuden tarvittavan pumpun teholuokkaa. Lisäksi RTI-talossa jäähdytysverkoston mitoitusteho nousee, joten vanhan pumpun teho ei kertoisi todellista tehontarvetta. Vanha teho RTI-talon jäähdytysverkostossa oli laskennallisesti 400 kW. Nyt teho nousee 600 kW:iin ja virtaama kasvaa. Samalla nousee pumpun paineenkorotus likimäärin suoraan verrannollisesti virtaaman neliöön.

$$\Delta p \approx (q_v)^2 \quad (12)$$

Lasketaan likimääräinen painetuotto vanhalla virtaamalla paineentuoton muutoksen hahmottamiseksi.

$$(13,6 \text{ dm}^3 / \text{s})^2 \approx 185 \text{ kPa}$$

Likimääräinen painetuotto uudella virtaamalla on

$$(22,3 \text{ dm}^3 / \text{s})^2 \approx 497 \text{ kPa}$$

Paineentuotto nousee teoriassa kolminkertaiseksi. Uuden ja vanhan pumppujen teholuokkien eroavaisuudet tarkistettiin erään pumppuvalmistajan mitoitusohjelmalla ja vanhoilla mitoitusarvoilla pumpun teho olisi ollut 11 kW ja uusilla 22 kW. Varsinainen RTI-talon pumpun mitoitusajo on esitetty liite 8:ssa.

Kyseisen valmistajan pumppu valittiin, koska kesäkuussa 2011 tulee voimaan säädös, joka vaatii kaikkien markkinoilla olevien kuivamoottoripumppujen moottoreiden täyttävän Euroopan Unionin ErP-direktiivin (Energy-using Products Directive) IE2-luokituksen ja kyseinen valmistaja toimitti jo IE2-luokituksella olevia pumppuja (12). IE-luokitus tulee sanoista International Efficiency, ja se määritellään standardissa IEC 60034-30:2008-10. Käytännössä luokitus tarkoittaa sähkölaitteelle annettua hyötysuhdeluokkaa. Uusi luokitus otetaan käyttöön, koska pumppujen hyötysuhteiden testausmenetelmät ovat muuttuneet ja vanhat EFF-luokitukset eivät enää päde. IE-luokitukset ovat IE1, IE2 ja IE3. Luokitukset menevät järjestyksessä huonoimmasta

parhaimpaan IE3:n ollessa parhaimmalla hyötysuhteella ja IE1:n huonoimmalla. 2015 kaikkien pumppujen luokituksen on oltava vähintään IE2 (13). IE2- luokan pumppuja on ollut saatavilla pumppuvalmistajilta useamman vuoden ajan.

4.4.4 Runkoäänien eristys

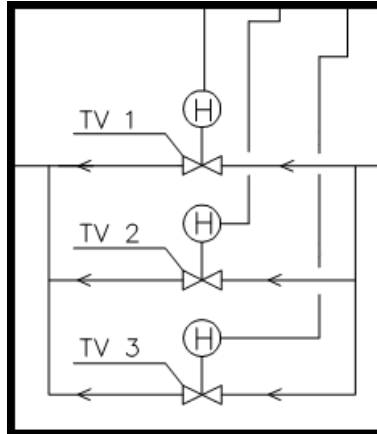
Pumput tuottavat käydessään käyntiäänien lisäksi tärinästä runkoääntä alustaansa. Runkoäänien kulkeutumista rakenteissa voidaan ehkäistä käyttämällä joko erillisiä tärinäneristimiä tai pumpun alustarakenteeseen tehtävillä muutoksilla. Erillisinä tärinäneristiminä käytetään esimerkiksi eristinjousia tai kumieristimiä. Kumisten tärinäneristimien käyttö edellyttää hyvin jäykkää alustarakennetta. Jos pumpun massa on hyvin suuri tai alustarakenne on esimerkiksi hentoa puu- tai teräsrakennetta, jäykkä alusrakenne ei toteudu ja tärinäneristimiksi olisi valittava silloin joustavampia eristinjousia. Alustarakennetta on mahdollista myös jäykistää. Erityisesti silloin kun koneiden välillä vaikuttaa voimia (esim. pumppu ja moottori hihnavälityksellä), tulisi laitteet sijoittaa yhteiselle jäykälle alustalle ja eristimet alustan alle (5, s. 208).

RTI-talossa lämmönjakohuoneen vieressä on tyhjää varastotilaa, jossa ei toistaiseksi ole hiljaista työympäristöä vaativaa toimintaa. Tulevaisuuden varalle kuitenkin pumppu ja lämmönsiirrin suunniteltiin asennettavaksi lämmönjakohuoneeseen tulevalle omalle betonialustalle.

4.5 Ensiöpuolen säätöventtiilit

Ensiöpuolen paluulinjaan asennetaan lämmönsiirtimen jälkeen säätöventtiiliryhmä. Säätöventtiilien lukumäärä, kytkentä- ja säätöperiaate selviävät Helsingin Energian Kaukojäähdytyksen järjestelmäohjeesta (5. 2-tiesäätöventtiilien mitoitus.). Ohjeistuksen mukaisesti säätöventtiilien läpi kulkeva virtaama jaotellaan venttiilikohtaisesti. Painehäviö venttiilien yli on ohjeistuksen mukaan 40–50 kPa, ja auktoriteetin on oltava vähintään 33 % (7, s. 13). Liite 6:ssa on Helsingin Energian tekemä ohje säätöventtiilien mitoituksesta.

RTI-taloon suunniteltiin ohjeistuksen mukaisesti kolmen rinnakkain kytketyn säätöventtiilin ryhmä.



Kuva 11. Säätöventtiiliryhmä RTI-talossa

Virtaama jaetaan säätöventtiileille ohjeen mukaisesti:

$$TV1 = \frac{1}{6} \cdot q_{\text{vensiö}}, \quad TV2 = \frac{2}{6} \cdot q_{\text{vensiö}}, \quad TV3 = \frac{3}{6} \cdot q_{\text{vensiö}} \quad (13)$$

Ensiöpuolen virtaama lasketaan samalla periaatteella kuin toisiopuolen virtaama, mutta mitoituslämpötilat määrittää energialaitos. RTI-talossa ensiöpuolen meno- ja paluulämpötilat ovat poikkeuksellisia johtuen samasta syystä kuin toisiopuolen mitoituslämpötiloissa. Helsingin Energia ohjeisti käyttämään jäähdytyksen ensiöpuolen tulolämpötilana +8 °C:ta ja menolämpötilana +14,5 °C:ta. Kaavalla 4 laskettuna näillä arvoilla saatiin virtaamaksi 22,3 dm³/s. Tällöin virtaamat ovat venttiiliä kohden

$$TV1 = \frac{1}{6} \cdot 22,0 \text{ dm}^3 / \text{s} = 3,667 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$TV2 = \frac{2}{6} \cdot 22,0 \text{ dm}^3 / \text{s} = 7,333 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$TV3 = \frac{3}{6} \cdot 22,0 \text{ dm}^3 / \text{s} = 11 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

Venttiileistä laskettiin vielä kvs-arvot. Kvs-arvolla tarkoitetaan virtaamaa täysin avoimen venttiilin läpi 1 bar:n paine-erolla (100 kPa, kuutiometriä tunnissa). Kaava voidaan muodostaa verrannolla, kun tiedetään venttiilin virtaama ja virtaamalle määritelty paine-ero venttiilin yli. Helsingin Energia ohjeistaa säätöventtiilien paine-eroksi 40–50 kPa. Verrannossa pätee myös sääntö, että paine-ero on likimain virtaaman neliö.

Venttiilien mitoitusarvojen tarkistus tulee tehdä viimeistään urakoitsijan ehdottamien säätöventtiilien hyväksymisvaiheessa.

$$\left(\frac{q_{v1bar}}{q_v} \right)^2 = \frac{\Delta p_{1bar}}{\Delta p} \quad (14)$$

Kaavasta (14) selvitettävä termi on q_{v1bar} ja virtaama muunnetaan kuutioiksi tunnissa. Selkeyden vuoksi arvo q_{v1bar} korvataan kvs-termillä ja johdetaan kaavasta (14).

$$kvs = q_v \cdot 3,6 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{1bar}}{\Delta p}} \quad (15)$$

Lasketaan kvs-arvo TV1:stä kaavalla 15. Käytetään venttiilin paine-erona Helsingin Energian ohjeistusta 50 kPa .

$$kvs = 3,667 dm^3 / s \cdot 3,6 \cdot \sqrt{\frac{100kPa}{50kPa}} = 18,67$$

Lasketaan kvs-arvo TV2:sta.

$$kvs = 7,333 dm^3 / s \cdot 3,6 \cdot \sqrt{\frac{100kPa}{50kPa}} = 37,33$$

Lasketaan kvs-arvo TV3:sta.

$$kvs = 11 dm^3 / s \cdot 3,6 \cdot \sqrt{\frac{100kPa}{50kPa}} = 56,00$$

Säätöventtiilien toimittaja antoi säätöventtiileille seuraavat kvs-arvot lasketuilla virtaamilla:

Taulukko 2. Venttiilitoimittajan ehdotus kvs- arvoista

Venttiili	$q_{vensiö}$	kvs
TV1	3,66	25.0
TV2	7,32	40.0
TV3	10,98	63.0

Venttiilien mitoitus toteutettiin venttiilitoimittajan ehdottamilla kvs-arvoilla. Helsingin Energia ohjeistaa tarkistamaan laskettujen venttiilien auktoriteetin liite 6:ssa näkyvän kaavan mukaan. Paine-ero Δp_{sv} säätöventtiilien yli tulee olla 40–50 kPa. Ohjeessa neuvotaan kaavalla, miten paine-ero Δp_{sv} tarkistetaan (johdettu kvs-arvon laskentakaava):

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{q_{vensiö}}{\sum kvs} \right)^2 \quad (16)$$

$q_{vensiö}$ on ensiöpuolen virtaama kuutiometreinä tunnissa (m^3 / h)

$\sum kvs$ on valittujen säätöventtiilien kvs-arvojen summa

Δp_{sv} on paine-ero (*bar*)

Tällöin kvs-arvojen summa on 128. Sijoitetaan arvot kaavaan (16):

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{22,0 dm^3 / s \cdot 3,6}{128} \right)^2 = 0,382 bar = 38,2 kPa$$

Paine-ero jää hieman alle 40 kPa:n, mutta on hyväksyttävissä. Asia varmistettiin Helsingin Energialta. Helsingin Energia ilmoittaa paine-eroksi mittauskeskuksen jälkeen 100 kPa (liite 6), joten venttiilien auktoriteetti β voidaan tarkistaa kaavalla:

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{mit}} \quad (17)$$

Δp_{mit} on Helsingin Energian ilmoittama paine-ero mittauskeskuksen jälkeen

Sijoitetaan arvot kaavaan

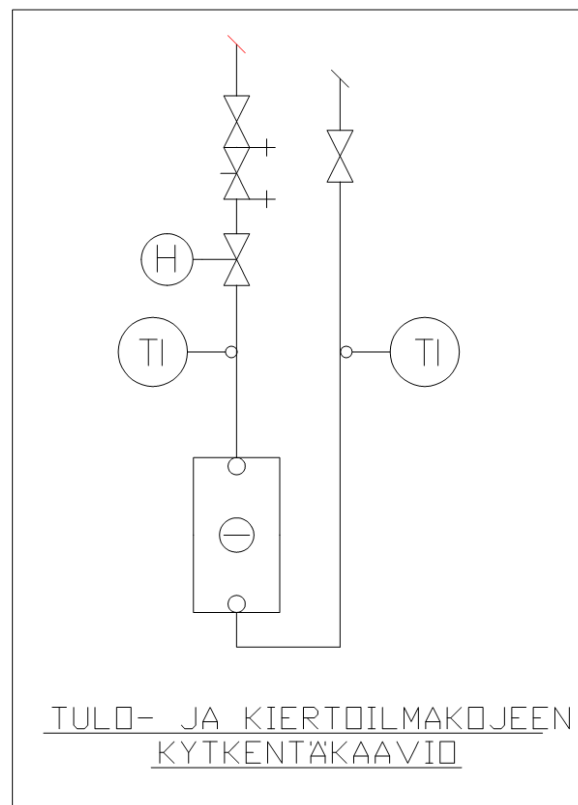
$$\beta = \frac{38,2 kPa}{100 kPa} = 0,382 = 38,2\%$$

Ohjeistuksessa mainittiin, että venttiilien auktoriteetin tulisi olla vähintään 33 % ensiöpiirin kokonaispainehäviöstä. Auktoriteetti on suurempi kuin 33 %, joten venttiilit ovat sopivat. Yleisesti säädettävyyden kannalta parempi auktoriteetti säätöventtiileille olisi, jos venttiilien painehäviö olisi yhtä suuri kuin verkoston muiden osien painehäviö, eli auktoriteetti olisi yli 50 % (8, s. 192).

4.6 Toisioverkoston jäähdytyspatterien kytkentä

Toisioverkoston tuloilman esilämmityslaitteet kytketään yleensä sekoituskytkennällä. Sekoituskyskentä tarkoittaa paluuveden sekoittamista menoveteen. Kytkentä tehdään lämmityspatterin lähelle ja esimerkiksi kaksitievalventtiilikytkennällä. (8, s. 190.)

Jäähdytyspuolelle Helsingin Energia ohjeisti käyttämään pelkästään kaksitievalventtiilejä säätämiseen, ja sekoituskytkentöjen tekemistä ei sallittu. RTI-talossa tämä ohjeistus tarkoitti jäähdytyslinjan tarkistamista sekoituskytkentöjen varalta. Mahdollisissa olemassaolevissa kaksitievalventtiilillä tehdyissä sekoituskytkennöissä venttiili suljetaan ja kolmitievalventtiilikytkennöissä venttiili joko poistetaan tai säädetään ajamaan virtaus suoraan putken läpi. Lisäksi kolmitievalventtiileissä joudutaan tekemään tulppaus shunttiputkeen. RTI-talossa ei kuitenkaan ollut kolmitievalventtiilikytkentöjä. RTI-talon vanhojen jäähdytyspatterien kytkennät olivat tehty kuvassa 12 mainitulla tavalla.



Kuva 12. Toisiopuolen tuloilmakoneen jäähdytyspatterin kytkentä (Helsingin Energia)

Säätöventtiilien auktoriteetteja ei pystytty tarkistamaan, koska vanhoista suunnitteluasiakirjoista ei saatu selkeää tietoa. Ilman sekoituskytkentöjä venttiilin

auktoriteettiin vaikuttavat koko kyseisen venttiilin piiristä tulevat painehäviöt. Laskenta tehdään säätövaiheessa venttiilikohtaisesti kaavan 17 mukaisesti, kun venttiilien painehäviöt selvitetään. Oletuksena on kuitenkin, että nykyiset säätöventtiilien painehäviöt pienenevät, koska virtaamaa pattereihin pienennetään tehohävikin seurauksena.

4.7 Toisioverkoston putkistovarusteet

Toisioverkostoon tulee asentaa sulk-, säätö ja yksisuuntaventtiilien lisäksi kiertoputkistoon kuuluvat varusteet (8, s. 132–133, 200):

- verkoston varolaitteet
- täyttöventtiiliryhmä
- suodattimet
- ilmanpoistajat.

4.7.1 Varolaitteet

Veden tiheydelle on ominaista muuttua lämpötilan mukaan. Tiheyden muuttuessa muuttuu samalla veden tilavuus joko laajentumalla tai supistumalla. Putkiston osat eivät laajene samalla tavoin kuin vesi, joten kiertovedelle täytyy olla tilaa laajentua. Vesikiertoinen jäähdytysjärjestelmä varustetaan veden laajentumisen vastaanottavalla paisunta-astialla. Veden lämpötilan kohotessa nousee sen höyryn paine ja liiallinen paineen kohoaminen voi vahingoittaa verkostoa. Paisuntajärjestelmä voi olla avoin tai suljettu. RTI-talon järjestelmään valittiin jälkimmäinen järjestelmä.

Suljetussa paisunta-astiajärjestelmässä laajentuvalle nesteelle varattu tila on suljettu ympäristöön nähden. Paineastian paine ei saisi missään vaiheessa korota niin suureksi, että syntyy astian rikkoutumisvaara. Tämän vuoksi jäähdytysjärjestelmä on varustettava varoventtiilillä, joka estää suurimman sallitun käyttöpaineen ylittämisen. Jäähdytysjärjestelmä on siis suljettu, mutta paisuntasäiliö on yhteydessä ulkoilmaan. Paisuntasäiliössä pidetään koko ajan sopivaa painetta kaasutäyteen avulla. Paisuntasäiliön vesi ja kaasu on erotettu toisistaan kaasutiivillä joustavalla kalvolla. (8, s. 200, 202.)

Suljetun järjestelmän mitoituksessa valitaan alku- ja loppupaine. Alkupaineen on oltava suurempi kuin jäähdytysjärjestelmän ja pumpun aiheuttama staattinen paine. Alkupaine määräytyy yleisesti paisuntasäiliön ja verkoston korkeimman kohdan korkeuserojen perusteella. Korkeuserosta saadun paineen lisäksi alkupaine valitaan 30–50 kPa suuremmaksi. Loppupaine määräytyy varoventtiilin avautumispaineen mukaan, jonka suuruus on yhtä suuri kuin verkoston heikoimman osan suurin paineenkesto. Yleensä heikoimmat osat lämmityspuolen verkostoissa ovat radiaattorit. Varoventtiilin avautumispaine voi olla myös pienempi. Alimitoitettu paisuntasäiliö aiheuttaa verkostossa veden ulosvirtaamista varoventtiilin kautta korkeissa lämpötiloissa. Tämä aiheuttaa veden vajauksen ja toimintahäiriöitä. Samanlainen tilanne tulee, jos alkupaine on liian korkea. Tällöin säiliön tehollinen tilavuus pienenee (8, s. 204). RTI-talossa lämmönjakohuoneen tilanpuutteen vuoksi jäähdytyksen paisuntasäiliö sijoitettiin ilmanvaihtokonehuoneeseen rakennuksen ylimpään kerrokseen. Verkoston varoventtiilit sijoitettiin paisunta-astian viereen Helsingin Energian ohjeiden mukaisesti (7, s. 21).

Paisuntasäiliön mitoitus aloitetaan veden laajeneman suuruuden selvittämällä laitoksen toimintalämpötilojen mukaan. Lasketaan vesitilavuuden laajenema tiheyden kaavaa apuna käyttäen. Veden lämpötiloina käytetään +4 °C:ta ja +30 °C:ta. Tiheydet ovat $\rho_{4\text{vesi}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ ja $\rho_{30\text{vesi}} = 995,7 \text{ kg/m}^3$ (8, s. 441). Jäähdytysverkoston vesitilavuudeksi laskettiin RTI-talossa 4,27 m³.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (18)$$

m on verkoston veden massa, kg

V on verkoston vesitilavuus, m^3

Vesi laajentuu lämmitessä, mutta massa säilyy. Lasketaan ensin verkoston veden massa kaavasta (18) johtamalla. Käytetään tiheytenä +4 °C:n tiheyttä.

$$m = \rho_{4\text{vesi}} \cdot V \quad (19)$$

$$m = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,27 \text{ m}^3 = 4270 \text{ kg}$$

Lasketaan tilavuuden lisäys +30 °C:n tiheydellä ja samalla massalla kaavasta (18) johtamalla.

$$V = \frac{m}{\rho_{30\text{vesi}}} = \frac{4270\text{kg}}{995,7\text{kg/m}^3} = 4,288\text{m}^3$$

Laajenema on +4 °C:n ja +30 °C:n veden tilavuuksien erotus.

$$4,288\text{m}^3 - 4,27\text{m}^3 = 0,018\text{m}^3 = 18\text{dm}^3$$

Prosentuaalisesti laajenema on 0,43 %. Laajeneman lisäksi tarvitaan vuotoja varten pieni varatilavuus, joka oletetaan tässä tapauksessa 10 dm³:n suuruiseksi. Paisuntaastian mitoitus voidaan kokonaisuudessaan tehdä kaavalla (20). Kaikki paineet käsitellään absoluuttisina paineina (+100 kPa).

$$p_e \cdot V_s = p_t \cdot (V_s - V_r) = p_a \cdot (V_s - (V_r + V_l)) \quad (20)$$

p_e on alku- tai esipaine, *kPa*

V_s on paisuntasäiliön tilavuus, *dm³*

p_t on verkoston täyttöpaine, *kPa*

V_r on säiliön varatilavuus, *dm³*

p_a on loppupaine (heikoimman osan käyttöpaine), *kPa*

V_l on veden laajenema, *dm³*

Selvitetään ensin esipaine p_e . Paisunta-astia sijoitettiin yläkerran

ilmanvaihtokonehuoneeseen, jossa samassa tilassa on ilmanvaihdon jäähdytyspatterit.

Alkupaine määräytyy yleensä paisuntasäiliön ja verkoston korkeimman kohdan

korkeuserojen perusteella. Tässä tapauksessa jäähdytysverkoston korkein kohta on n.

2 m:n korkeudella paisuntasäiliöstä. Lasketaan esipaineen suuruus 30–50 kPa lisäys huomioonottaen.

$$p_e = 20\text{kPa} + 30\ldots 50\text{kPa} = 50\ldots 70\text{kPa}$$

Valitaan esipaineeksi 60 kPa, joka on absoluuttisena paineena 160 kPa. Lasketaan

seuraavaksi loppupaine p_a . Varoventtiilin avautumispaineeksi oli määritetty 600 kPa,

mutta jälkeenpäin huomattiin, että nykyiset laitteet kestäisivät 1,5 MPa:n

käyttöpaineen tyyppikilpien mukaan. Helsingin Energia ohjeistaa kuitenkin käyttämään varoventtiilin avautumispaineena 1,0 MPa (7, s. 21). Verkoston heikoin kohta löytyy kellarikerroksesta, jossa on yksi neljästä tuloilman jäähdytyspatterista. Korkeuseroa patterilla ja varoventtiilillä on n. 17,2 m. Heikoimman lenkin sijaitessa alakerrassa voidaan loppupaineesta (joka yleensä on varoventtiilin avautumispaine) vähentää korkeuserosta tulevan staattisen paineen vaikutus. Lisäksi loppupaineesta pudotetaan vielä 50 kPa pois pelivarana.

$$p_a = 1000kPa - 172kPa - 50kPa = 778kPa$$

Loppupaine on absoluuttisena paineena 878 kPa. Lasketaan paisunta-astian koko kaavasta (20) johdettuna.

$$V_s = \frac{p_a \cdot (V_r + V_l)}{p_a - p_e} \quad (21)$$

$$V_s = \frac{878kPa}{878kPa - 160kPa} \cdot (10dm^3 + 18dm^3) = 34dm^3$$

Paisuntasäiliön kooksi sopisi esimerkiksi 50 dm³:n kokoinen säiliö. Lasketaan vielä verkoston täyttöpaine p_t kaavasta (20) johdettuna.

$$p_t = \frac{p_e \cdot V_s}{(V_s - V_r)} \quad (22)$$

$$p_t = \frac{160kPa \cdot 34dm^3}{(34dm^3 - 10dm^3)} = 226,67kPa$$

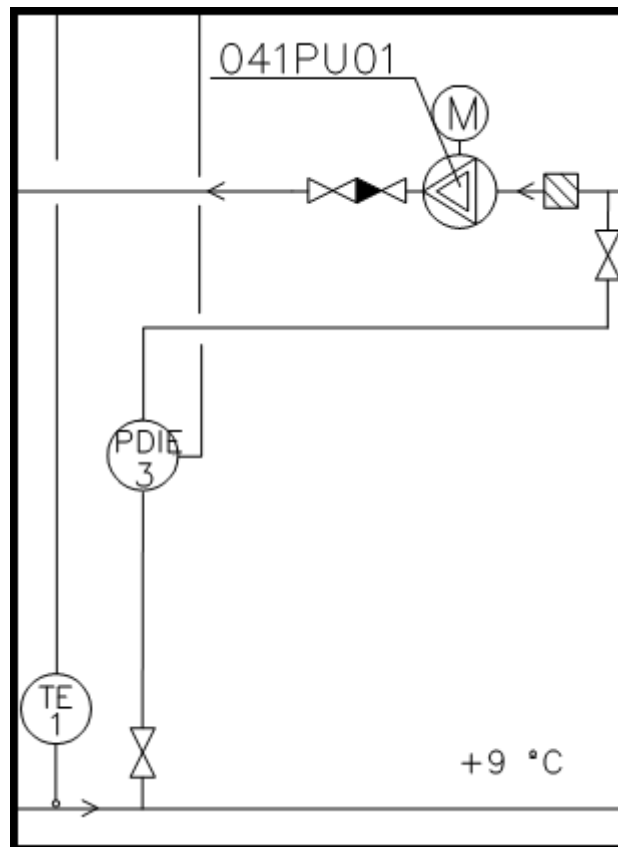
Verkoston täyttöpaine ylipaineena on 126,67 kPa. RTI-talossa mitoitettiin kuitenkin paisunta-astia ylimittaiseksi mahdollisia verkoston laajennuksia varten. Lopulliseksi paisuntasäiliön kooksi määritettiin 250 dm³. Lisäksi paisuntasäiliön rakennepaineeksi selvisi jälkeenpäin 600 kPa:a, joten varoventtiilin avautumispaineeksikin määriteltiin sama arvo.

4.7.2 Täyttöventtiiliryhmä

Jäähdytysvesiverkoston täyttö tehdään syöttämällä vettä kylmästä käyttövedestä verkostoon. RTI-talon verkoston täyttö suunniteltiin tehtäväksi täyttöventtiiliryhmällä, johon kuuluu täyttöventtiili varustettuna molemmin puolisilla sulkuventtiileillä. Täyttöventtiiliryhmä yleensä sijoitetaan samaan tilaan, jossa on verkoston painemittari. RTI-talon tapauksessa venttiiliryhmä suunniteltiin sijoitettavaksi ilmanvaihtokonehuoneeseen paisunta-astian ja varoventtiilien lähelle. Tämä aiheuttaa hieman enemmän putkityötä, koska täyttöventtiili tarvitsee syötön kylmästä käyttövedestä ja ilmanvaihtokonehuoneessa on ainoastaan yksi vesipiste. Tältä vesipisteeltä (0,2 l/s normivirtaama) tuodaan halkaisijaltaan 15 mm:n yhde jäähdytysverkoston paluulinjaan. Verkoston täyttäminen saattaa kestää kauemmin verrattuna lämmönjakohuoneeseen ja isommalla putkikoolla varustettuun täyttöyhteeseen. Tämä ratkaisu kuitenkin tehtiin, koska Helsingin Energia ohjeistaa täyttöventtiilin sijoittamista varolaiteryhmän lähelle. (7, s. 21.)

4.7.3 Lianerottimet

Helsingin Energia ei anna lianerottimen tyypille erityisvaatimuksia, mutta lianerottimen silmäkoon tulee olla alle 1,0 mm ja DN- koon vähintään putken kokoinen (7, s. 20). Suunnittelussa tehtiin Helsingin Energian esimerkkikytkentäkaaviosta poikkeava ratkaisu. Alkuperäisessä kytkentäkaaviossa toisioverkoston suodattimen kytkentä tehtiin ohivirtausperiaatteella. Uudessa kytkentäkaaviossa suodatin kytketään ennen toisioverkon pumppua. Tällöin ohivirtausuodatukseen vaadittavia putkia ei tarvita ja kytkentä yksinkertaistuu. Ohivirtauskytkennän etuna olisi virtauksen jatkuminen, mikäli suodatin tukkeutuisi, mutta kiinteistössä ei ole kriittisiä jäähdytyskuormia, jotka vaatisivat jatkuvaa jäähdytystä. Liite 9:ssä on kytkentäperiaate ohivirtaussuodattimesta. Kuva 13:ssa esitetään RTI-talossa käytetty kytkentäperiaate.



Kuva 13. RTI-talon jäähdytysverkoston suodattimen kytkentäperiaate

4.7.4 Ilmanpoistajat

Putkistoon kerääntyvän ilman tai muun kaasun poistamiseen tarvitaan omat laitteet. Nämä laitteet voivat olla joko venttiilejä tai automaattisia nesteessä kelluvan kohon liikkeen mukaan avautuvia venttiilejä (8, s. 133). Ensiöpuolella automaattisia ilmanpoistajia ei saa käyttää. Sensijaan ensiöpuolelle voidaan asentaa käsin käytettäviä ilmanpoistoverventtiilejä. Toisiopuolella on sallittua käyttää molemmantyyppisiä ilmanpoistajia. Ilmanpoistoverventtiilit varustetaan teräspuutkiverkostossa tyhjennysputkillä ohjeistuksen mukaan (7, s. 20).

RTI-talon jäähdytysverkostoon määriteltiin toisiopuolen ilmanpoistoa varten mikrokuplien poistaja mallia Spirovent HI-Flow. Mikrokuplien poistaja sijoitettiin virtaussuunnassa ennen toisiopuolen pumppua ja niitä määriteltiin verkostoon asennettavaksi 1 kpl. Mikäli käytettäisiin normaaleja automaattisia ilmanpoistajia, niitä pitää asentaa riittävä määrä, jotta ilma voidaan poistaa kaikista verkoston kohdista (mm. korkeimmat kohdat). Ensiöpuolen ilmanpoisto määriteltiin venttiileillä tehtäväksi.

4.8 Ensiö- ja toisiopuolen putkisto

Ensiöpuolella jäähdytysvesiputkisto tehdään yleensä teräsputkesta, vaikka muoviputkikin sallitaan. Materiaali voi olla myös RST-terästä. Putken PN-luokka on oltava vähintään 16. Teräsputkiston liitokset tehdään joko hitsaus- tai laippaliitoksin. Muoviputkiston liitokset tehdään putken valmistajan ohjeiden mukaisesti. Putkisto mitoitetaan siten, ettei energialaitoksen antama kokonaispainehäviö ylitä. Helsingin Energia ohjeistaa taulukon 3 mukaisella tavalla ensiöpuolen putkiston mitoitusta.

Taulukko 3: Ohjeistus ensiöpuolen putkiston mitoitukselle (Helsingin Energia)

Putken koko DN	Laskettu vesivirta enintään	
	dm ³ /s	m ³ /h
50	2,3	8,28
65	4,4	15,84
80	6,9	24,84
100	13,5	48,6
125	23,4	84,24
150	38,8	139,68
200	79	284,4
250	142,4	512,64
300	224,4	807,84

Taulukko perustuu raja-arvon 200 Pa/m täyttymiseen jokaisessa koon muutoksessa. Lisäksi taulukko pätee vain, jos mittauskeskuksen ja alajakokeskuksen etäisyys ei ole liian suuri (putkilinjan maksimietäisyys siirtimiltä mittauskeskukselle on 25 m). (7, s. 17.)

Toisiopuolen putkistona voi käyttää teräs- ja muoviputken lisäksi myös kupariputkea. Helsingin Energia ohjeistaa kupariputkien mitoituksessa kasvattamaan putken kokoa aina 0,5 m/s:n virtausnopeuden ylittyessä. Lisäksi ohjeistetaan, ettei virtausnopeus saisi missään kohtaa ylittää 1,0 m/s:n nopeutta eroosiokorroosioriskin vuoksi. Kupariputkien liitokset tehdään joko juottamalla tai puserrus- tai laippaliittimillä. Teräsputkien liitokset tehdään samalla tavalla kuin ensiöpuolella. (7, s. 18.)

RTI-talossa vanha toisiopuolen putkisto on jo valmiiksi teräsputkea ja kooltaan DN125. Uusi toisiopuolen putkisto määritettiin tehtäväksi vastaavasti teräsputkesta. Ensiöpuolen putkisto määritettiin tehtäväksi myös teräsputkella.

4.9 Eristeet

Jäähdytysvesiputkistossa eristäminen on tarpeellista ympäristön lämpövirran ja kosteusvirran kulkemisen putkistoon estämiseksi. Jäähdytysvesiputkiston eristäminen voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- Taloudellinen kylmäeristys, joka tarkoittaa kylmähäviöiden aiheuttamien energiakustannusten ja eristyskustannusten optimoinnin mukaan mitoitettua eristystä.
- Kastepiste-/hikoilueristys (kondenssieristys), jonka mitoitusperusteena on eristyksen pintalämpötilan säilyttäminen ympäristön kastepistettä korkeampana, jotta ympäristön kosteus ei tiivisty eristyksen pinnalle.
- Prosessitekkinen kylmäeristys, jonka tavoitteena on pitää eristettävän kohteen sisällön lämpötila prosessin vaatimissa rajoissa.

Kondenssieristuksen mitoituksessa otetaan huomioon eristettävän putken ulkolämpötila, ympäristön lämpötila ja ympäristön kosteus. Jos kondenssieristeen eristevahvuus on määräävin tekijä eristeen valinnassa, eristeen vahvuus on silloin kondenssieristeen mukaan, vaikka taloudellisuuteen painottuvassa eristyksessä vahvuus olisi pienempi. Kondenssieristeessä tärkeää on, että eristeen lämmönjohtamiskyky on mahdollisimman pieni ja höyrytiiviyys taas mahdollisimman suuri. Väärin mitoitettu kylmäeristys voi ajan kuluessa läpikastua, ja silloin lämmönjohtavuus voi nousta 20–30 kertaiseksi. Putkien ja säiliöiden kylmäeristyksessä käytetään lähes aina polyuretaani- ja solukumieristettä. (4, s. 149.)

Rakennustieto Oy:n LVI-ohjetiedostossa määritetään jäähdytysvesiputkistolle (+7 °C:n lämpöiselle vedelle) käytettäväksi eristeeksi solukumieristettä 13 mm:n vahvuudella (14, s. 2). Aikaisemmat kokemukset Yleisradiolla ovat kuitenkin osoittaneet, että 13 mm ei riitä kondenssin ehkäisemiseksi. Lisäksi vahvuus varmistettiin Helsingin Energialta ja ohjeistuksena oli käyttää 19 mm:n vahvuista eristettä.

RTI-talossa uusiin jäähdytysvesilinjoihin määriteltiin eristeeksi 19 mm solukumia. Aikaisemmin kiinteistössä on ollut mineraalivillaa jäähdytysvesiputkistojen eristeenä. Nyt eristeeksi vaihdetaan solukumi lämmönjakohuoneen osalta ja mikäli vanhan mineraalivillan kanssa tulee kondenssiongelmia, sekin on vaihdettava solukumiin.

4.10 Mittauskeskus

Kaukojäähdytyksessä käytetään kaukolämmön tapaan energiamittausta ensiöpuolella. Mittaus suoritetaan kaukoluentana, mutta mitattavan kiinteistön kaukojäähdytyslaitteistoon on lisättävä mittauskeskus. Mittauskeskus asennetaan heti verkostosta sisääntuotujen jäähdytysjohtojen sulkuventtiilien jälkeen. Mittauskeskuksen koon määrittää energialaitos ja koko määräytyy tehon mukaan. Suuremmalla teholla tarvitaan dimensioiltaan suurempi mittauskeskus. Mittauskeskus kannakoidaan seinälle ja eristetään 13 mm:n solukumieristeellä. Helsingin Energia tarjoaa mittauskeskuksia paketteina, joissa eriste ja kannakkeet ovat valmiiksi jo kiinni. Eristeet ovat valmiina kaikissa paketeissa, ja kannakkeet ovat valmiiksi kiinnitettynä kokoluokissa DN50/80. Sitä isommissa paketeissa kannakkeet ovat irrallisina. Mittauskeskuksen putkisto-materiaalina on normaali teräsputki (Fe37) (6. Pakettimittauskeskukset). Liite 7:ssä on tyyppikuva Helsingin Energian mittauskeskuksesta.

RTI-talossa mittauskeskuksen kooksi määriteltiin DN100, jonka dimensiot on esitetty liite 7:ssä.

5 Yhteenveto

Insinööriöprojektissa todettiin, että saneerauskohteessa ohjeistuksien lisäksi tulee tehdä normaaleista suunnitteluratkaisuksista poikkeavia ratkaisuja. Projektin kohteessa suurin haaste oli tilanpuutteen ratkaiseminen. Suurin tilansäästö saatiin sijoittamalla jäähdytysverkoston paisunta-astia varolaitteineen ilmanvaihtokonehuoneeseen. Jäähdytysverkoston täyttöryhmäkin tehtiin samaan tilaan, koska varolaiteryhmistä sai valmiit painemittarit verkoston täytön tarkkailua varten. Lisäksi kaukojäähdytyksen tuomisessa saneerauskohteeseen täytyi huomioida vanhojen jäähdytysverkoston laitteiden tehonmuutos uuden järjestelmän menoveden lämpötilasta johtuen. Ideaalitalanteessa kiinteistön ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspatterit olisi vaihdettu

kaukojäähdytyksen lämpötiloille mitoitettuihin uusiin pattereihin. Vanhoilla mitoituslämpötiloilla mitoitettujen pattereiden teho putosi laskennallisesti n. 25 %.

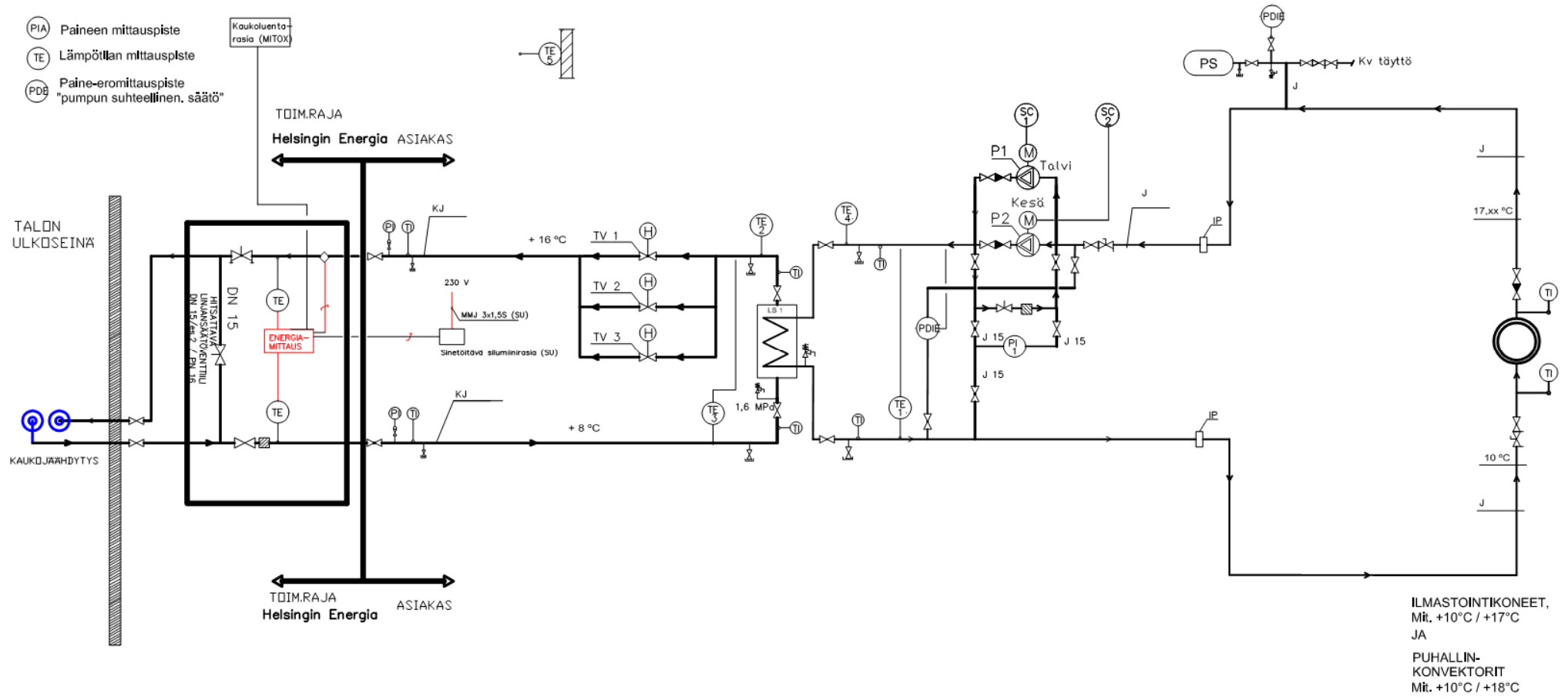
Insinööriyön raportin kirjoituksen aikana ei tullut suuria muutoksia alkuperäisiin lvi-suunnitelmiin. Liite 10:n kaukokylmän siirtimen mitoitustaulukossa on arvot, jotka tehtiin ennen insinööriyön laskelmia. Tästä syystä insinööriyön ja taulukon arvot hieman poikkeavat. Suurin poikkeama taulukossa on toisiopuolen verkoston painehäviön suuruus, joka laskettiin aluksi virheellisesti ylimittaiseksi. Tällä ei kuitenkaan ollut vaikutusta esimerkiksi pumpun kokoon, koska pelkkä virtaama vaatii saman kokoluokan pumpun mikä oli jo valittu. Insinööriyö toimi siis samalla laskentojen tarkistusprosessina. Kiinteistön kaukojäähdytysjärjestelmän suunnittelun kulkuna voisi käyttää samaa järjestystä kuin asioita esitettiin tässä työssä.

Lähteet

- 1 Kaukojäähdytys. 2010. Verkkodokumentti. Energiateollisuus.
<<http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/kaukojaahdytys>>. Luettu 28.12.2010.
- 2 Kaukojäähdytys. 9.7.2010. Verkkodokumentti. Tampereen Sähkölaitos.
<<http://www.tampereensahkolaitos.fi/internet/Yksityisasiakas/Kauko-lämpö/Kaukojäähdytys.htm>>. Luettu 28.12.2010
- 3 Kaukojäähdytyksen tuotanto. 2010. Verkkodokumentti. Helsingin Energia.
<http://www.helen.fi/energia/kj_tuotanto.html>. Luettu 30.12.2010
- 4 Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. Jyväskylä: Opetushallitus.
- 5 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 6 Wirgentius, Niko. Salmi, Jussi. 2010. Kaukojäähdytyksen järjestelmäohje. Helsingin Energia.
- 7 Wirgentius, Niko. Salmi, Jussi. 2010. Rakennusten kaukojäähdytys. KJ1/2010. Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. Helsingin Energia.
- 8 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto Oy.
- 9 Karilainen, Heikki. 2009. Kiinteistökohtaisten jäähdytysjärjestelmien hyödyntäminen liityttäessä kaukojäähdytykseen. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 10 Lampinen, Markku. Sovelletun termodyn. Lab, moniste 138. Teknillinen korkeakoulu.
- 11 Putkivirtauksen painehäviöiden laskentataulukko. 30.08.2006. Excel-
taulukko. EVTEK- ammattikorkeakoulun talotekniikan aikuiskoulutusryhmä KCM05.
- 12 Pitkänen, Risto. 2011. Myyntipäällikkö, WILO Finland Oy, Espoo.
Keskustelu. 13.01.2011.
- 13 EU:n uusi lainsäädäntö, Energiaa käyttävien tuotteiden ekologinen
suunnittelu. 2009. Verkkodokumentti. Vem Motors Finland Oy.
<http://www.vem.fi/get_file.php?file=pikaopas_moottoreiden_hyotysuhte_hy_2.pdf&dir=home>. Luettu 23.01.2011.

- 14 Penttilä, Timo. Marraskuu 2002. Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö, LVI 50-10345. Ohjetiedosto. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto ry 2002.

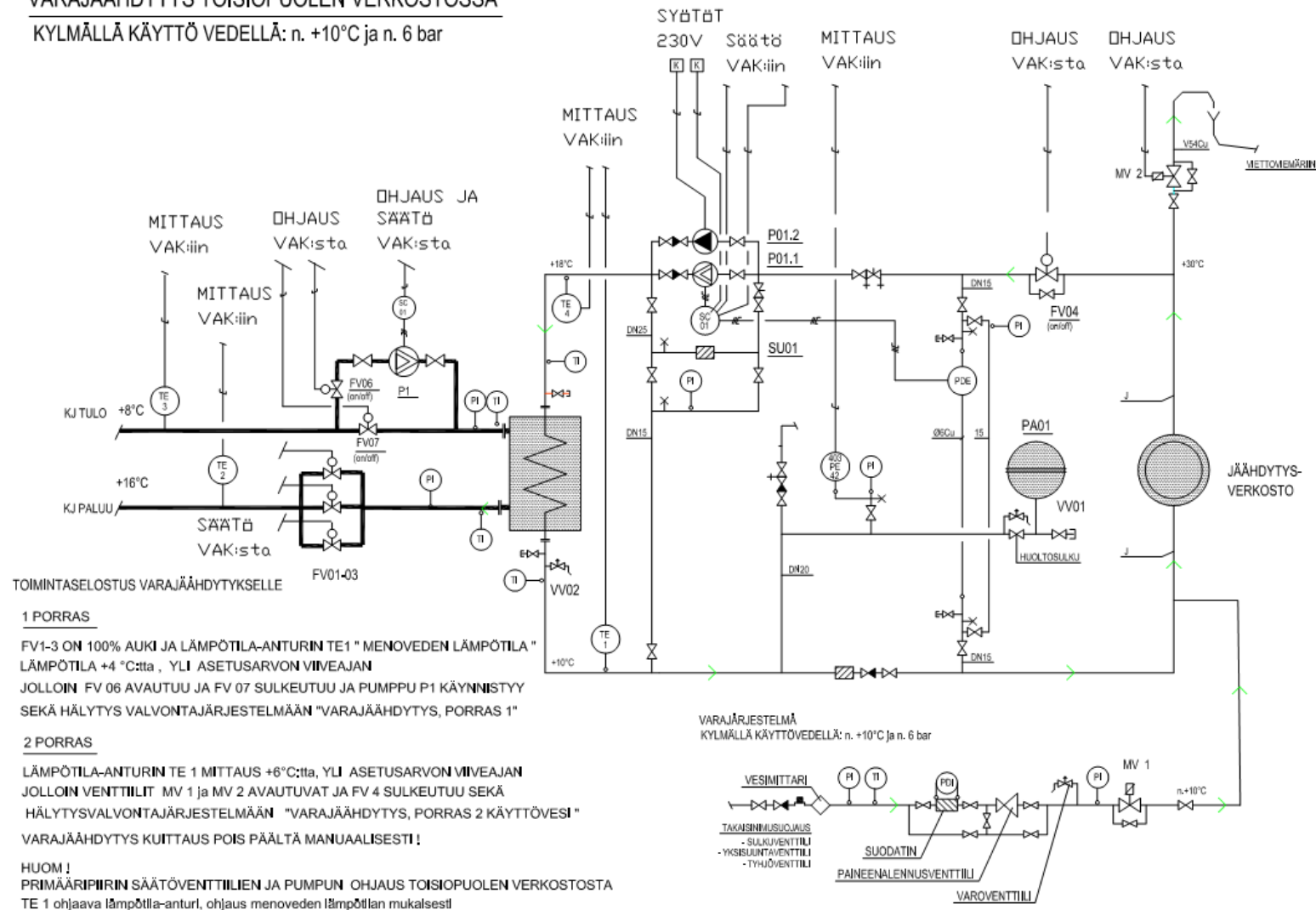
Liite 1: Kaukojäähdytyksen esimerkkikytkentäkaavio (Helsingin Energia)



Liite 2: Kaukojäähdytyksen varajärjestelmän esimerkkikytkentäkaavio (Helsingin Energia)

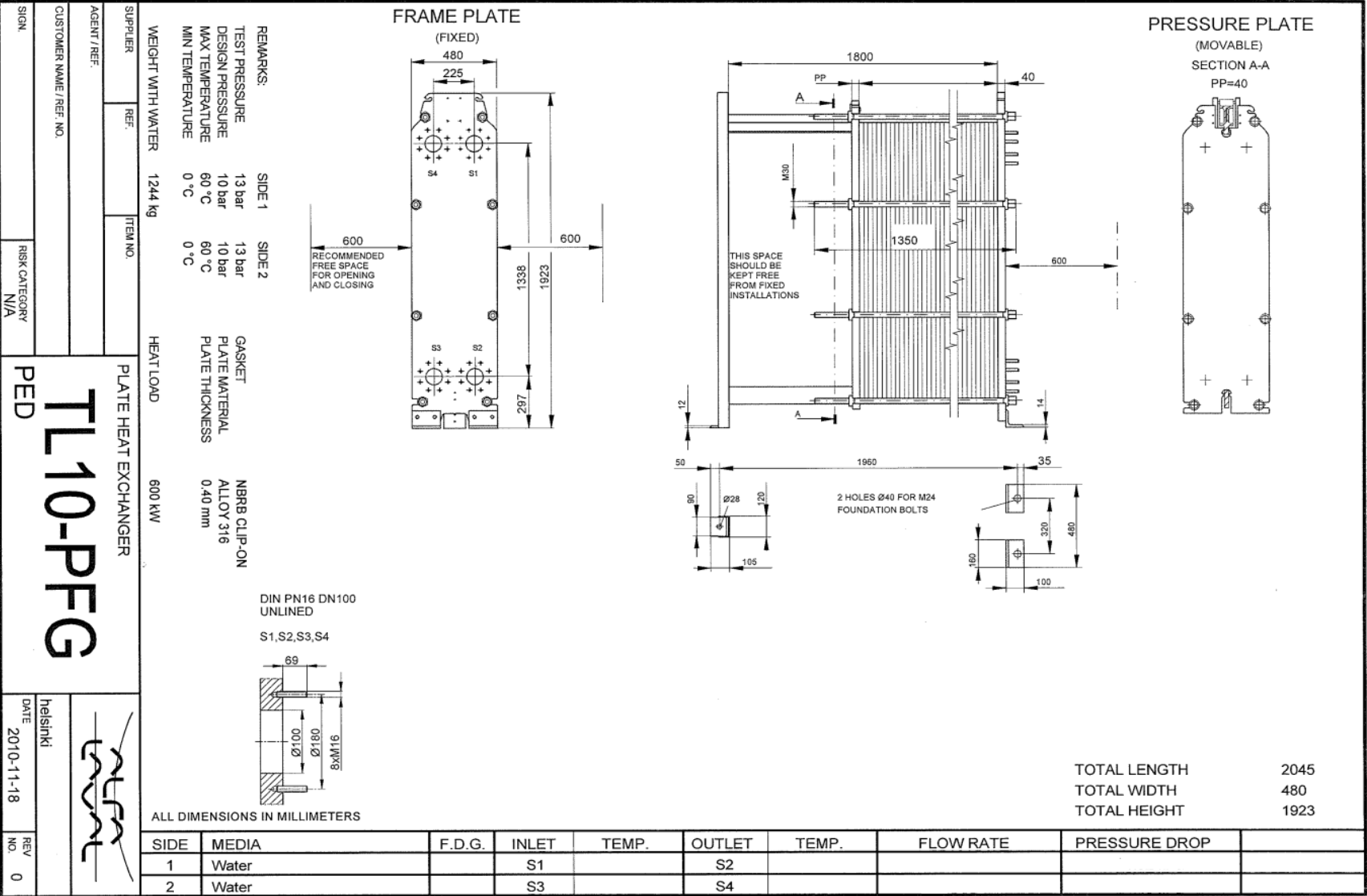
VARAJÄÄHDYTYS TOISIOPUOLEN VERKOSTOSSA

KYLMÄLLÄ KÄYTTÖ VEDELLÄ: n. +10°C ja n. 6 bar



Technical drawing of a building's ventilation and air conditioning system. The drawing shows a complex network of ducts, pipes, and electrical wiring. Key components include two pressure gauges (P.A.) with a 400dm³ 200kPa scale, a central air handling unit (K103), and various control valves (KV54, KV64, KV65). The system is connected to a main supply (KV15) and a return (KV15+). The drawing also shows a control panel (KL-MITTAUS-KESKUS) and a control unit (KL-PAKETTI). The system is designed for a room with a volume of 26.0 m³. The drawing includes dimensions and labels for various components and connections.

Liite 4: Lämmönsiirtimen mittakuva (Alfa Laval Oy)



Liite 5: Lämmönsiirtimen valmistajan mitoitusajo

Plate Heat Exchanger



Technical Specification

Customer :
Model : TL10-BFG
Projektin nimi: : RTI-Talo KJ
Item :

Date : 28.12.2010

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	999.4	999.7
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.20	4.20
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.591	0.589
Viscosity inlet	cP	1.13	1.39
Viscosity outlet	cP	1.35	1.16
Mass flow rate	kg/s	22.32	21.97
Inlet temperature	°C	15.4	8.0
Outlet temperature	°C	9.0	14.5
Painehäviö	kPa	24.9	24.2
Heat exchanged	kW	600.0	
L.M.T.D.	K	0.9	
Rel. directions of fluids		Countercurrent	
Plate material / thickness		ALLOY 316 / 0.50 mm	
Sealing material		NBRB CLIP-ON	NBRB CLIP-ON
Connection material		Rubber NBRP	Rubber NBRP
Connection standard		DN100	DN100
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure			
Flange rating		DIN PN16	
Design pressure	bar	16.0	16.0
Test pressure	bar	20.8	20.8
Design temperature	°C	50.0	50.0
Overall length x width x height	mm	2045 x 480 x 1923	
Flooded weight	kg	1690	
Packed weight(SKID LYING)	kg	1430	
volume	m ³	3.0	
length x width x height	mm	2100 x 635 x 2250	

PerformanceNote

Data, specifications, and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not, without the written consent of Alfa Laval, be used or copied, reproduced, transmitted or communicated or disclosed in any other way to a third party.

Liite 6: Ohjeistus säätöventtiilien mitoituksesta(Helsingin Energia)

2 – TIE SÄÄTÖVENTTIILIEN MITOITUS PRIMÄÄRIPIIRISSÄ
MITTAUSKESKUKSIEN JÄLKEEN KÄYTETTÄVISSÄ OLEVA
PAINE-ERO 100 KPA , JOSTA

VENTTIILIT = 50 kPa

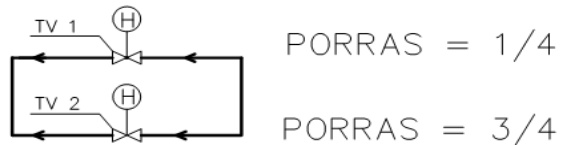
SIIRTIMET = 20–30 kPa

PUTKISTO = MAX 30 KPa

VENTTIILIT ΔK! = ΔP YHTEENSÄ

$$\left(\frac{q_{Vm/h}}{kvs(\text{summa})} \right)^2 = n. 40-50 \text{ Kpa}$$

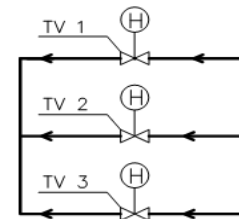
SÄÄTÖPORTAAT LASKETAAN KOKONAISVIRTAAMASTA



ALLE 150 KW



150–300 KW

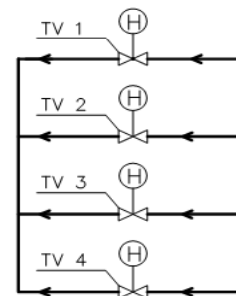


PORRAS = 1/6

PORRAS = 2/6

PORRAS = 3/6

300–2000 KW



PORRAS = 1/8

PORRAS = 2/8

PORRAS = 2/8

PORRAS = 3/8

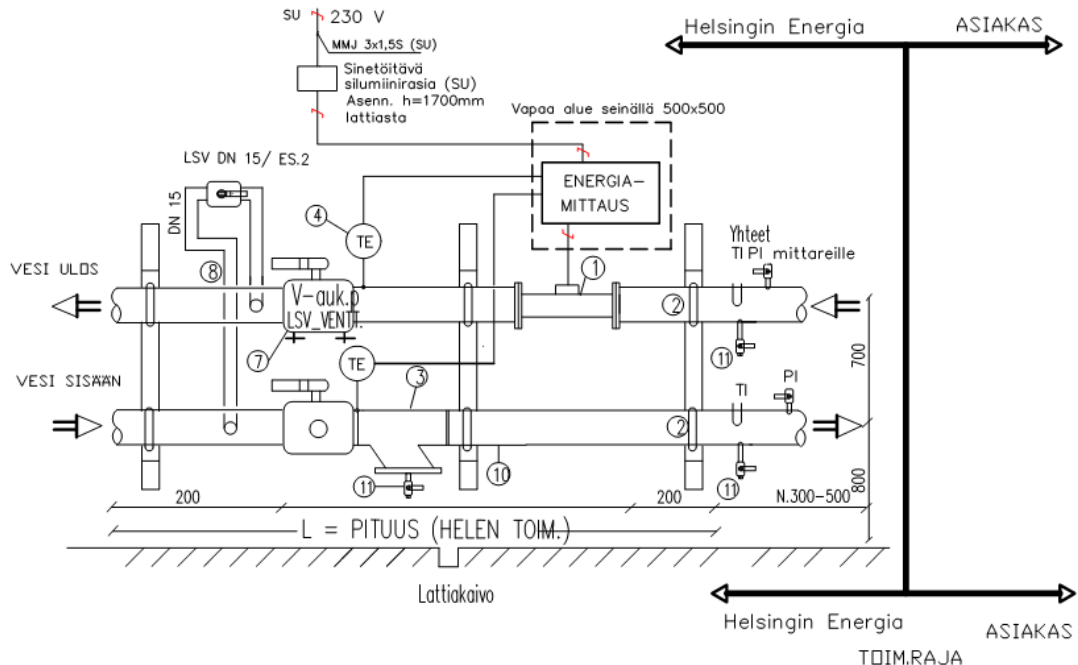
YLI 2000 KW–

Liite 7: Pakettimittauskeskus (Helsingin Energia)

MITTAUSKESKUS 50/80/100/150

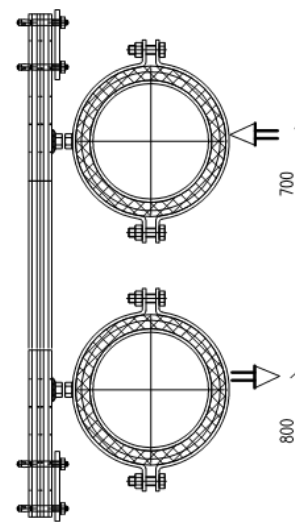
PAKETTIKESKUS sisältää keskuksen eristysten +13mm solukumilla + kannakoinnin ja seinäripustustarvikkeet. Keskus on valmiiksi koottu DN50/80 kokoon asti ja isommissa keskuksissa keskus on muuten valmis paitsi, kannakkeet ja konsolit on mukana irrallisena toimituksessa.

TOIM.RAJA



DN		50	80	100	150
Sopimusvesivirta	m ³ /h	0-30	31-80	81-200	201-400
Jäähdytysteho	kW	0-280	280-750	750-1800	1800-4600
1 Virtausanturi	DN	50	80	100	150
1 Virtausanturi	L	270	300	360	500
1 Virtausanturi	PN	25	25	25	25
2 Kannake	kpl	6	6	6	6
3 Lianerotin	L	220	260	290	300
4 Lämpötila-anturitasku	kpl	2	2	2	2
6 Palloventtiili	L	300	300	325	350
7 V-auk.pallo(LSV)venttiili	DN	50	80	100	150
8 YHTEET Kiertolenkki	DN	15	15	15	15
10 Suora putki	L	300	300	360	500
11 Tyhjennys	DN	15	20	25	25
PITUUS MK (HELEN TOIM.)		n. 1700	n. 1800	n. 2000	n. 2500


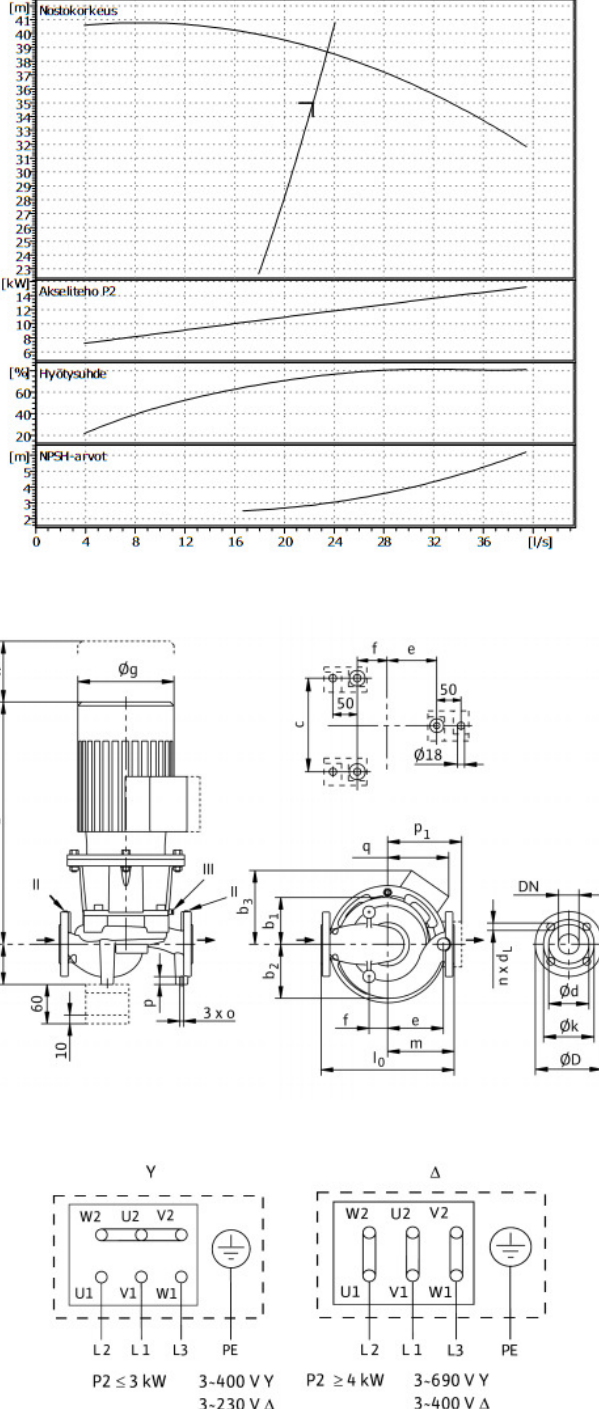
Putkistomateriaali Fe37
pohjamaalaus FERREX-maalilla
+13mm Solukumi



ESIMERKKI KANNAKKEET JA KONTOSOLIT (ESIM. HILTI) TAI VASTAAVA

DN	Konsoli	Kääntölevy	Kierretanko	Putkenpidin	Ankkuri
50	MQK-21/300	MQA-M 10	M10	MIP-H/60-64	HST M10X90/10
80	MQK-21/300	MQA-M 10	M10	MIP-H/89	HST M10X90/10
100	MQK-21/300	MQA-M 10	M10	MIP-H/114	HST M10X90/10
150	MQK-21D/300	MQA-M 16	M16	MIP-H/165-168	HST M10X90/10
200	MQK-21D/300	MQA-M 16	M16	MIP-M/216-219	HST M10X90/10

Liite 8: Toisiopuolen kiertopumppu

WILO SE Nortkirchenstr. 100 D 44263 Dortmund Puhelin 0231/4102-0 Faksi 0231/4102-7363	IL 80/170-15/2 Laite: Inline pump																																																																																																																																																																																														
Asiakas Asiakas nro. Yhteyshenkilö Käsittelijä	Projekti Projekti nro: Pos. nro Location Päiväys	Sivu 1 / 1																																																																																																																																																																																													
 <p>The left section contains four performance graphs and technical drawings. The graphs show Head (m) vs. Flow (l/s), Power (kW) vs. Flow (l/s), Efficiency (%) vs. Flow (l/s), and NPSH (m) vs. Flow (l/s). The technical drawings include a side view, a front view, and a cross-section view, along with a wiring diagram for the motor.</p>	<table border="1"> <tr> <th colspan="3">Mitoitustiedot</th> </tr> <tr> <td>Virtaus</td> <td>22,3</td> <td>l/s</td> </tr> <tr> <td>Nostokorkeus</td> <td>35</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Neste</td> <td>Vesi, puhdas</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nesteen lämpötila</td> <td>20</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Tiheys</td> <td>0,9983</td> <td>kg/dm³</td> </tr> <tr> <td>Kinemaattinen viskositeetti</td> <td>1,005</td> <td>mm²/s</td> </tr> <tr> <td>Höyrynpaine</td> <td>0</td> <td>kPa</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th colspan="3">Pumputiedot</th> </tr> <tr> <td>Valmiste</td> <td>WILO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tyyppi</td> <td>IL 80/170-15/2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aseman tyyppi</td> <td>Vakiopumppu</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nimellispaine</td> <td>PN16</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nesteen min. lämpötila</td> <td>-20</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Nesteen max. lämpötila</td> <td>140</td> <td>°C</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th colspan="3">Hydrauliset tiedot (toimintapiste)</th> </tr> <tr> <td>Virtaus</td> <td>23,4</td> <td>l/s</td> </tr> <tr> <td>Nostokorkeus</td> <td>38,7</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Akseliteho P2</td> <td>11,7</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Kierrosluku</td> <td>2900</td> <td>1/min</td> </tr> <tr> <td>NPSH</td> <td>2,99</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Juoksupyörän koko</td> <td>171</td> <td>mm</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th colspan="2">Materiaalit / tiiviste</th> </tr> <tr> <td>Pesä</td> <td>GG 25</td> </tr> <tr> <td>Akseli</td> <td>1.4122</td> </tr> <tr> <td>Juoksupyörä</td> <td>GG 20</td> </tr> <tr> <td>Liukurengastiiviste</td> <td>Tilauksesta</td> </tr> <tr> <td>Sivuaukko</td> <td>GG 25</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th colspan="8">Mitat</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>mm</th> </tr> <tr> <td>l0</td> <td>440</td> <td>l1</td> <td>786</td> <td>DN</td> <td>80</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>120</td> <td>m</td> <td>200</td> <td>k</td> <td>160</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b1</td> <td>136</td> <td>o</td> <td>M12</td> <td>n</td> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b2</td> <td>162</td> <td>p</td> <td>20</td> <td>dL</td> <td>19</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>180</td> <td>p1</td> <td>250</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>173</td> <td>x</td> <td>120</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>f</td> <td>72</td> <td>D</td> <td>200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ø g</td> <td>320</td> <td>d</td> <td>132</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>Imupuoli</td> <td>DN 80 / PN16</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Painepuoli</td> <td>DN 80 / PN16</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Paino</td> <td>164</td> <td>kg</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th colspan="3">Moottorin tiedot</th> </tr> <tr> <td>Nimellisteho P2</td> <td>15</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Nimellisa nopeus</td> <td>2900</td> <td>1/min</td> </tr> <tr> <td>Nimellisjännite</td> <td>3~400 V, 50 Hz</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Max. virrankulutus</td> <td>28,5</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>pesäntilaluokka</td> <td>IP 55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sallittu jännite toleranssi +/-</td> <td>10 %</td> <td></td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>Tuotenumero vakio versiossa</td> <td>2088384</td> </tr> </table>	Mitoitustiedot			Virtaus	22,3	l/s	Nostokorkeus	35	m	Neste	Vesi, puhdas		Nesteen lämpötila	20	°C	Tiheys	0,9983	kg/dm³	Kinemaattinen viskositeetti	1,005	mm²/s	Höyrynpaine	0	kPa	Pumputiedot			Valmiste	WILO		Tyyppi	IL 80/170-15/2		Aseman tyyppi	Vakiopumppu		Nimellispaine	PN16		Nesteen min. lämpötila	-20	°C	Nesteen max. lämpötila	140	°C	Hydrauliset tiedot (toimintapiste)			Virtaus	23,4	l/s	Nostokorkeus	38,7	m	Akseliteho P2	11,7	kW	Kierrosluku	2900	1/min	NPSH	2,99	m	Juoksupyörän koko	171	mm	Materiaalit / tiiviste		Pesä	GG 25	Akseli	1.4122	Juoksupyörä	GG 20	Liukurengastiiviste	Tilauksesta	Sivuaukko	GG 25	Mitat															mm	l0	440	l1	786	DN	80			a	120	m	200	k	160			b1	136	o	M12	n	8			b2	162	p	20	dL	19			c	180	p1	250					e	173	x	120					f	72	D	200					ø g	320	d	132					Imupuoli	DN 80 / PN16		Painepuoli	DN 80 / PN16		Paino	164	kg	Moottorin tiedot			Nimellisteho P2	15	kW	Nimellisa nopeus	2900	1/min	Nimellisjännite	3~400 V, 50 Hz		Max. virrankulutus	28,5	A	pesäntilaluokka	IP 55		Sallittu jännite toleranssi +/-	10 %		Tuotenumero vakio versiossa	2088384
Mitoitustiedot																																																																																																																																																																																															
Virtaus	22,3	l/s																																																																																																																																																																																													
Nostokorkeus	35	m																																																																																																																																																																																													
Neste	Vesi, puhdas																																																																																																																																																																																														
Nesteen lämpötila	20	°C																																																																																																																																																																																													
Tiheys	0,9983	kg/dm³																																																																																																																																																																																													
Kinemaattinen viskositeetti	1,005	mm²/s																																																																																																																																																																																													
Höyrynpaine	0	kPa																																																																																																																																																																																													
Pumputiedot																																																																																																																																																																																															
Valmiste	WILO																																																																																																																																																																																														
Tyyppi	IL 80/170-15/2																																																																																																																																																																																														
Aseman tyyppi	Vakiopumppu																																																																																																																																																																																														
Nimellispaine	PN16																																																																																																																																																																																														
Nesteen min. lämpötila	-20	°C																																																																																																																																																																																													
Nesteen max. lämpötila	140	°C																																																																																																																																																																																													
Hydrauliset tiedot (toimintapiste)																																																																																																																																																																																															
Virtaus	23,4	l/s																																																																																																																																																																																													
Nostokorkeus	38,7	m																																																																																																																																																																																													
Akseliteho P2	11,7	kW																																																																																																																																																																																													
Kierrosluku	2900	1/min																																																																																																																																																																																													
NPSH	2,99	m																																																																																																																																																																																													
Juoksupyörän koko	171	mm																																																																																																																																																																																													
Materiaalit / tiiviste																																																																																																																																																																																															
Pesä	GG 25																																																																																																																																																																																														
Akseli	1.4122																																																																																																																																																																																														
Juoksupyörä	GG 20																																																																																																																																																																																														
Liukurengastiiviste	Tilauksesta																																																																																																																																																																																														
Sivuaukko	GG 25																																																																																																																																																																																														
Mitat																																																																																																																																																																																															
							mm																																																																																																																																																																																								
l0	440	l1	786	DN	80																																																																																																																																																																																										
a	120	m	200	k	160																																																																																																																																																																																										
b1	136	o	M12	n	8																																																																																																																																																																																										
b2	162	p	20	dL	19																																																																																																																																																																																										
c	180	p1	250																																																																																																																																																																																												
e	173	x	120																																																																																																																																																																																												
f	72	D	200																																																																																																																																																																																												
ø g	320	d	132																																																																																																																																																																																												
Imupuoli	DN 80 / PN16																																																																																																																																																																																														
Painepuoli	DN 80 / PN16																																																																																																																																																																																														
Paino	164	kg																																																																																																																																																																																													
Moottorin tiedot																																																																																																																																																																																															
Nimellisteho P2	15	kW																																																																																																																																																																																													
Nimellisa nopeus	2900	1/min																																																																																																																																																																																													
Nimellisjännite	3~400 V, 50 Hz																																																																																																																																																																																														
Max. virrankulutus	28,5	A																																																																																																																																																																																													
pesäntilaluokka	IP 55																																																																																																																																																																																														
Sallittu jännite toleranssi +/-	10 %																																																																																																																																																																																														
Tuotenumero vakio versiossa	2088384																																																																																																																																																																																														

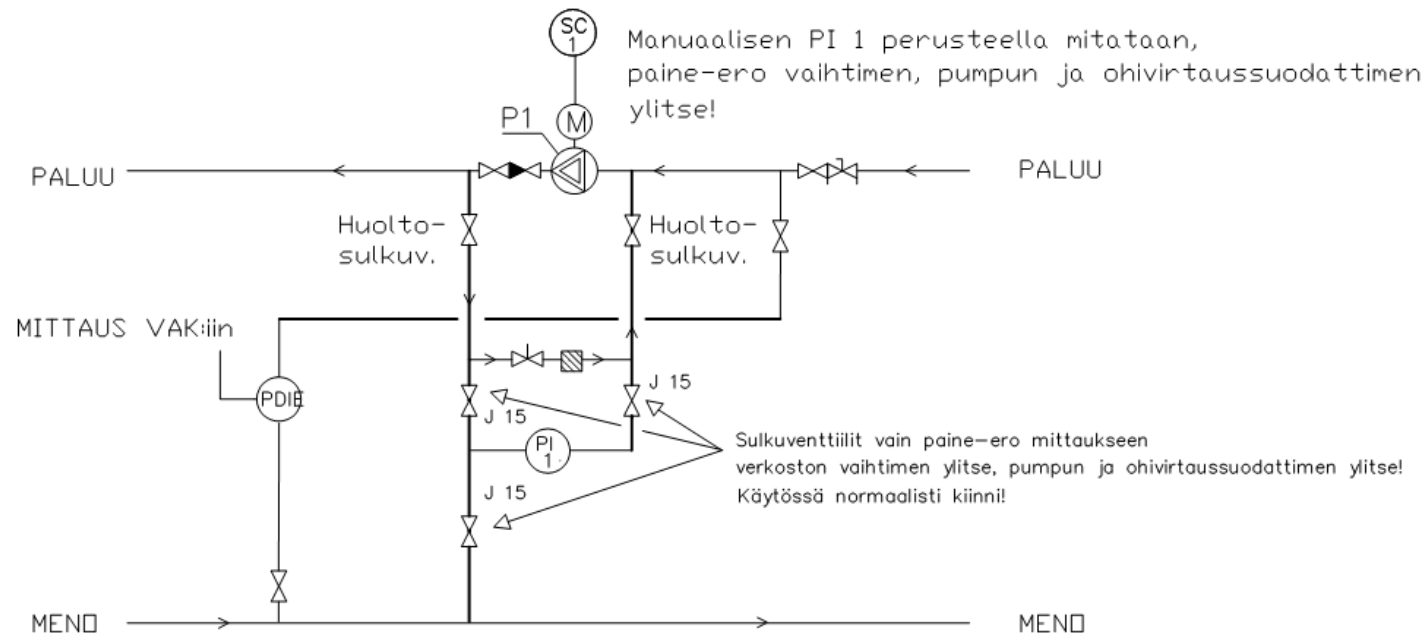
Liite 9: Ohivirtaussuodattimen kytkentäperiaate (Helsingin Energia)

OHIVIRTAUSSUODATIN / VERKOSTON PAINE-ERO MITTAUS
TOISIOPUOLEN VERKOSTOSSA

TOIMINTA:

Toisiopuolen verkostossa ohivirtaussuodatin pumpun meno / paluupuolen ylitse.

Ohivirtaussuodatin toimii aina kun jäähdytys-vesipiirissä on virtaamaa. Linjansäätöventtiilillä säädetään virtaus ohivirtaussuodattimen koon perusteella sekä mitataan suodattimen toimivuus !



Liite 10: RTI-talon kaukokylmän alajakokeskuksen mitoitus

[illegible]